

*Thèse de doctorat
présentée à l'École nationale d'administration publique
dans le cadre du programme de doctorat en administration publique
(Analyse et management des politiques publiques)
pour l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)*

Thèse intitulée

**Modélisation et simulation de l'émergence décisionnelle en politiques
publiques en tant que système complexe – Développement d'un modèle de
diagnostic décisionnel basé sur des techniques de l'intelligence artificielle**

Présentée par

Ali Guidara

Juin 2018

La thèse intitulée

Modélisation et simulation de l'émergence décisionnelle en politiques publiques en tant que système complexe – Développement d'un modèle de diagnostic décisionnel basé sur des techniques de l'intelligence artificielle

Présentée par

Ali Guidara

Est évaluée par les membres du jury de thèse suivants :

Jean-François Savard, professeur agrégé à l'ÉNAP et président du jury

Daniel J. Caron, professeur sous octroi à l'ÉNAP et évaluateur interne

Marek Balazinski, professeur titulaire à l'École polytechnique de Montréal et évaluateur externe

Nelson Michaud, professeur titulaire à l'ÉNAP et directeur de recherche

À la mémoire de mes parents pour qui il fallait toujours aller jusqu'au bout.

« La promesse d'un homme libre est une dette. »

Proverbe arabe antique

*Comme il y a une infinité de choses sages qui sont menées d'une manière folle,
il y a aussi des folies qui sont conduites d'une manière très sage.*

Montesquieu

Once you stop learning, you start dying.

Albert Einstein

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont en premier lieu à mon directeur de recherche, Monsieur Nelson Michaud, qui m'a soutenu pendant mon parcours doctoral et m'a permis de réaliser ce projet dans un esprit de liberté intellectuelle, tout en apportant des critiques rigoureuses et constructives. Je lui suis reconnaissant pour le soutien et la confiance qu'il a témoignés à mon égard tout comme pour l'ouverture d'esprit qu'il a manifestée durant toutes ces années.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance à ma compagne Odile pour toute la patience, la compréhension, la présence et le soutien sans faille dont elle a fait preuve pendant toutes ces années jusqu'à l'accomplissement de cette thèse.

Je remercie aussi mes fils Sophian et Amin qui n'ont jamais cessé d'exprimer leur intérêt et leur encouragement pour ce projet.

Je n'oublie pas non plus mes amis proches et ma famille élargie, qui m'ont activement soutenu tout au long de ce projet.

J'aimerais enfin exprimer une pensée spéciale à des proches qui ne sont plus parmi nous et qui auraient été heureux de voir cet accomplissement.

RÉSUMÉ

La présente thèse, qui vise à explorer l'environnement micro ou sous-systémique du processus décisionnel en politiques publiques, s'inscrit au carrefour de l'analyse décisionnelle, des systèmes complexes, de la modélisation et simulation, et de techniques de l'intelligence artificielle, en particulier la logique floue. Cette démarche multidisciplinaire constitue la colonne vertébrale de ce projet de recherche, marquant ainsi une transition paradigmatique et méthodologique importante.

L'analyse décisionnelle a en effet engendré plusieurs approches ayant pour objectifs d'expliquer la prise de décision et d'interpréter les actions des États et des pouvoirs publics. Ces approches concernent toutefois des analyses systémiques au niveau global – ou macro – du processus décisionnel.

Par contre, le niveau micro du processus demeure jusqu'ici inexploré par ces approches analytiques classiques, faute d'outils appropriés. Ce niveau est pourtant l'environnement fondamental à l'origine même de l'émergence décisionnelle, un environnement animé par plusieurs facteurs et dynamiques composites qui lui confèrent les caractéristiques d'un système complexe. De tels systèmes exigent des techniques et des outils adéquats, comme la modélisation et simulation.

Toutefois, la modélisation requiert l'identification des entités qui composent le système et de leurs dynamique, et la simulation une technique et une plateforme informatique appropriée. De plus, ce système complexe doit reposer sur une articulation avec le champ des politiques publiques.

Ce travail de recherche consiste à développer un nouvel outil de modélisation et de simulation de l'environnement micro du processus décisionnel en tant que système complexe. Cet outil est une innovation qui s'appuie sur plusieurs théories et techniques. Il propose de faire bénéficier les champs de l'administration et des politiques publiques des apports et des développements issus de l'intégration de disciplines à première vue lointaines, mais pourtant complémentaires.

Mots-clés :

Intelligence artificielle et politiques publiques, logique floue, système à inférence floue, politiques publiques computationnelles, analytique politique, transformation numérique, modèle de simulation de l'émergence décisionnelle en politique PODESIM.

Abstract

This thesis aims to explore the sub systemic or the micro environment of the decision-making process in public policy with an approach at the crossroads of several fields, namely decision analysis, complex systems, modeling and simulation, and artificial intelligence techniques, particularly fuzzy logic. This multidisciplinary approach is at the core of this research project and constitutes a major methodological shift in public policy studies.

Previous analytical models are limited to the systemic or macroscopic decision-making level. Even though the micro environment is fundamental to the decision process, these models do not take it into consideration due to the lack of adequate tools.

This micro environment is influenced by several factors and dynamics that make it a complex system which requires adequate modeling and simulation methodologies.

Modeling involves identifying the entities that constitute the system and their dynamic, and simulation requires an appropriate technique and a software platform. Moreover, a cogent link between this complex system and public policy must be established to validate the approach.

This research consists in the development of a new tool to model and simulate the micro environment of the decision making process as a complex system. This tool constitutes an innovation based on several theories and techniques and it proposes to enrich the fields of public administration and public policy with the integration of different, yet complementary fields.

Keywords:

Artificial intelligence and public policy, fuzzy logic, fuzzy inference system, computational public policy, policy analytics, digital transformation, policy decision emergence simulation model PODESIM.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1. PROCESSUS DÉCISIONNEL ET APPROCHES ANALYTIQUES : NIVEAUX D'ANALYSE ET ÉVOLUTION PARADIGMATIQUE	9
1.1. Les approches analytiques.....	11
1.1.1. Le modèle rationnel.....	11
1.1.2. Le modèle incrémental	13
1.1.3. Le modèle bureaucratique	16
1.1.4. Le modèle des « anarchies organisées » ou <i>Garbage Can Model</i>	19
1.1.5. Conclusion concernant les approches analytiques	22
1.2. L'émergence décisionnelle : un système complexe	27
2. SYSTÈMES COMPLEXES ET POLITIQUES PUBLIQUES	29
2.1. Propriétés des systèmes complexes	33
2.2. Modélisation et simulation des systèmes complexes	37
2.2.1. La simulation.....	38
2.2.2. La modélisation	39
2.3. Le diagramme de Stacey : un outil de la complexité.....	43
3. THÉORIE DES COURANTS MULTIPLES	49
3.1. Les courants multiples	49

3.1.1.	Le courant des problèmes.....	50
3.1.2.	Le courant des solutions.....	52
3.1.3.	Le courant politique.....	54
3.2.	Bilan de la théorie des courants multiples.....	55
3.3.	Une transition méthodologique et paradigmatique.....	60
4.	INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LOGIQUE FLOUE.....	65
4.1.	L'intelligence artificielle et computationnelle.....	65
4.2.	La logique floue.....	67
4.3.	Les ensembles flous.....	68
4.4.	La logique floue comme outil décisionnel.....	71
4.5.	Les systèmes à inférence floue : principes et modélisation.....	73
4.5.1.	Structure et modélisation de systèmes à inférence floue.....	75
4.5.2.	Les algorithmes d'inférence floue.....	77
4.6.	La modélisation de type Mamdani.....	78
4.6.1.	La fuzzification des variables d'entrée.....	78
4.6.2.	Les fonctions d'appartenance et les opérateurs logiques.....	80
4.6.3.	Les règles d'inférence floue et les opérateurs logiques.....	83
4.6.4.	La défuzzification.....	86
4.6.5.	Les outils de modélisation et de simulation.....	89
4.7.	Conclusion.....	91
5.	MODÈLE D'ÉMERGENCE DÉCISIONNELLE PODESIM.....	95
5.1.	Les fonctions d'appartenance.....	98
5.2.	Les règles d'inférence floues.....	101

5.3.	Étude de cas : validation du modèle et résultats	107
5.3.1.	Le choix du cas empirique.....	107
5.3.2.	La collecte de données	108
5.3.3.	Simulations et résultats.....	111
5.3.4.	Interprétation méthodologique des résultats	117
6.	ANALYSE DES RÉSULTATS	119
7.	INNOVATIONS ET CONTRIBUTIONS.....	155
	CONCLUSION ET FUTURES RECHERCHES.....	167

INTRODUCTION GÉNÉRALE

We build too many walls and not enough bridges.

Isaac Newton

L'analyse décisionnelle en politiques publiques n'a cessé d'évoluer en fonction du progrès scientifique et méthodologique. Des paradigmes ont été développés et des modèles analytiques ont été élaborés dans des tentatives d'expliquer et d'interpréter les actions politiques, en se concentrant surtout sur l'analyse des décisions politiques et l'explication de leurs processus et finalités.

Or, la complexification des champs politique, social, économique et international a graduellement démontré les limites des modèles existants et pousse vers la conception de nouveaux paradigmes qui ont pour vocation de mieux expliquer la prise de décision politique. Autrement dit, les changements induits par l'évolution de l'état du monde exigent une réévaluation des théories et des concepts issus de l'analyse décisionnelle en politiques publiques dans le but de conserver les concepts qui ont prouvé leur utilité, de modifier ou de rejeter ceux qui ne sont plus adéquats, et d'identifier ainsi les lacunes théoriques à combler.

Mais, alors que les approches traditionnelles ont eu pour objectifs d'interpréter l'action de l'État dans sa prise de décision et d'analyser la finalité des décisions au niveau systémique, c'est-à-dire au niveau global, celui des acteurs décideurs et à l'échelle macroscopique, le processus décisionnel et ses multiples niveaux demeure insuffisamment exploré au regard de l'évolution contemporaine du champ des politiques publiques. Cette lacune touche notamment l'environnement sous-système du processus décisionnel, c'est-à-dire à l'échelle microscopique, celle des entités au niveau le plus profond.

Mintz et DeRouen (2010) affirment que « understanding decisions does not provide a complete analysis » (p. 10). C'est-à-dire que l'analyse de la décision ne fournit pas une

exploration complète du processus décisionnel qui l'a engendrée. Ce processus est pourtant riche en enseignements : il est animé par plusieurs entités et dynamiques qui sont à l'origine de l'émergence d'une décision ou d'une politique, et il mérite d'être appréhendé avec intérêt et rigueur. En effet, Yetiv (2011), par exemple, soutient que le processus décisionnel constitue « a vital part of decision-making and deserves explanation » (p. 203).

De plus, les analyses décisionnelles conventionnelles qui traitent des processus décisionnels représentent des extensions aux analyses de décisions et d'actions prises par les décideurs, alors que ces processus existent même en l'absence de prise de décision. Autrement dit, les processus qui génèrent les circonstances décisionnelles ne résultent pas nécessairement en une prise de décision. En effet, un processus décisionnel qui n'engendre pas de décision peut être aussi important et instructif que celui qui résulte en une prise de décision. Or, les conséquences d'un processus décisionnel, au-delà de la prise de décision, ne font pas l'objet d'analyses développées alors qu'ils sont aussi riches d'enseignement que les processus ayant engendré une prise de décision.

Par ailleurs, la complexification du processus décisionnel est au cœur opérationnel de l'administration publique. Elle traduit une décentralisation des pouvoirs et des dynamiques qui influencent la prise de décision et qui peuvent avoir un impact important sur l'élaboration et la mise en œuvre des politiques publiques. La détermination des facteurs et des mécanismes décisionnels est d'une grande importance, que ce soit dans un contexte de prise de décision ou non.

La compréhension de ce processus ainsi que les véritables leviers de l'émergence décisionnelle sont des sources de renseignements importantes pour explorer la prise de décision aussi bien que la non-décision. Cette émergence est la conséquence d'un processus complexe et elle exige des approches appropriées qui vont au-delà des explications linéaires fournies par les modèles analytiques traditionnels qualifiés de réductionnistes et de déterministes. Les limites des approches classiques « linéaires » en analyse décisionnelle sont en effet évoquées par plusieurs (Jervis, 1997; Moss et Edmonds, 2005; Lempert, 2002).

Morçöl (2002), pour sa part, soulève même les faiblesses des outils statistiques en analyse de politiques, malgré certains succès. Il soutient que ces faiblesses ont vu le jour à cause de la complexification générale de la politique et de l'incertitude grandissante qui caractérise les enjeux politiques.

Par ailleurs, on peut aussi affirmer que les outils statistiques ont recours à des ensembles de postulats et de conditions afin de satisfaire les critères de la solution recherchée. Ces outils n'apportent leur contribution dans l'analyse de données qu'après le déroulement des événements étudiés ou lorsqu'elles ont déjà été utilisées au cours de ces événements.

Cette nouvelle donne exige donc des approches susceptibles d'appréhender cette complexité grandissante des politiques publiques en général et du processus décisionnel en particulier. Certains évoquent même une transition nécessaire en analyse décisionnelle des politiques contemporaines. Ils préconisent un passage de l'approche positiviste à une méthodologie post-positiviste qui prend en compte le contexte étudié et ses spécificités (De León et Vogenbeck, 2007). Ceci dans le but d'explorer le processus d'émergence décisionnelle dans sa globalité et de mieux comprendre les actions politiques et le rôle de l'administration publique.

Harrison soutient d'ailleurs que « the influence of authority in the modern world political system can be better captured through complexity concepts than through a simple model more relevant in a past era of state dominance » (cité dans Harrison et Singer, 2006, p. 188).

Ces précisions concernant la complexité du processus décisionnel en politiques publiques traduisent un besoin pour des approches qui prennent en considération cette complexité, présente au niveau micro notamment.

Ceci a guidé nos efforts vers l'exploration du potentiel de la théorie de la complexité, ou théorie des systèmes complexes, à appréhender le processus qui engendre les circonstances décisionnelles en politiques publiques, c'est-à-dire l'émergence décisionnelle, et à explorer les facteurs et les dynamiques qui mènent à cette émergence. En effet, la théorie des systèmes

complexes « challenges some long-held views of science [reductionism, linearity] and offers a new set of concepts to understand complex problems. » (Mitchell, 2009, p. 300, 301).

L'intérêt principal de la théorie des systèmes complexes réside notamment dans sa capacité d'étudier les phénomènes d'émergence et les dynamiques qui les génèrent.

D'ailleurs, les politiques publiques peuvent être considérées comme des phénomènes émergents (Morçöl, 2003) selon les concepts de la théorie de la complexité, car elles sont des systèmes complexes (Morçöl, 2012). Leurs dynamiques d'émergence constituent la « boîte noire » décisionnelle et nécessitent des outils méthodologiques adéquats susceptibles d'explorer et d'interpréter ces dynamiques. Cette exploration peut améliorer notre compréhension de l'émergence décisionnelle en politiques publiques, au-delà de la conception linéaire et déterministe de certains modèles analytiques conventionnels. Mais elle nécessite aussi une démarche pluridisciplinaire qui prend en considération l'hétérogénéité des entités impliquées dans le processus décisionnel et de leur dynamique.

Notre objectif est donc d'explorer les outils développés par la théorie des systèmes complexes afin d'identifier la méthodologie qui permet d'explorer et d'appréhender l'environnement micro du processus décisionnel en tant que phénomène d'émergence. En effet, c'est cet environnement sous-systémique qui est à la base de l'émergence de circonstances d'une prise de décision, que nous appelons émergence décisionnelle.

Cependant, la théorie des systèmes complexes ne fournit que des pistes d'exploration des environnements complexes. Cette exploration nécessite toutefois des méthodes et des techniques pour appréhender la complexité et appliquer les techniques à des cas réels afin de tirer profit de l'évolution théorique et des concepts développés par la théorie des systèmes complexes.

De plus, il ne suffit pas d'identifier les techniques adéquates pour traiter des problèmes qualifiés de complexes. Il faut, en outre, identifier des méthodologies qui permettent une articulation avec le champ des politiques publiques et de l'administration.

Afin d'orienter nos efforts vers cet objectif, nous commençons par établir la question de recherche qui va nous guider dans la suite de cette exploration.

Question de recherche

Notre recherche porte sur l'émergence décisionnelle¹ en politiques publiques qui prend naissance au niveau micro du processus décisionnel.

Dans ce projet, la notion d'émergence est prise dans le sens établi par la théorie des systèmes complexes, c'est-à-dire un surgissement d'un comportement ou d'un phénomène, au niveau macro d'un système, à la suite de la dynamique non linéaire entre ses éléments constituants au niveau micro.

Le niveau micro du processus décisionnel est un système qui possède les caractéristiques d'un système complexe, c'est-à-dire un système constitué de plusieurs entités au niveau micro qui sont en interrelations directes ou indirectes dans un environnement décentralisé. La dynamique non linéaire et indéterministe de cet environnement est susceptible d'engendrer un comportement ou un phénomène nouveau au niveau macro du système. Ce comportement global n'est pas prévisible à partir des propriétés individuelles des entités du système et il n'est pas non plus une simple addition de ces entités.

Dans le processus décisionnel, ce comportement systémique se traduit par la genèse de circonstances décisionnelles, que nous qualifions d'émergence décisionnelle, vue dans ce projet comme une condition et une étape préliminaire et essentielle dans la prise de décision et l'élaboration d'une politique publique. D'où l'importance d'explorer l'environnement micro du processus décisionnel et de déterminer ses entités et la dynamique qui l'anime afin de comprendre le phénomène de l'émergence décisionnelle. Or, ce niveau micro n'est pas traité par les approches décisionnelles classiques, étant donné sa nature complexe et l'absence d'outils adéquats pour l'appréhender.

À la lumière de ces clarifications, notre question de recherche est la suivante :

¹ Cette notion n'a pas de lien avec la théorie de l'émergence décisionnelle provenant des études concernant les négociations et communications de groupes sociaux traitée par Fisher, B.A (1968). *Decision emergence: A process model of verbal task behavior for decision-making groups*. Unpublished Ph.D. dissertation, University of Minnesota.

Comment déterminer les entités et la dynamique au niveau micro du processus décisionnel en politiques publiques ainsi que leur impact sur le phénomène d'émergence décisionnelle ?

Cette question nous amène à explorer les théories qui nous permettent d'une part, d'identifier les entités de l'environnement micro du processus décisionnel et leurs propriétés et d'autre part, les méthodologies adéquates pour appréhender cet environnement et son évolution qui engendre le phénomène global ou systémique, en l'occurrence l'émergence décisionnelle.

Structure du document

L'élaboration de cette thèse a nécessité une démarche multidisciplinaire qui fait intervenir des notions et des concepts s'articulant autour de plusieurs thèmes et qui marque une transition méthodologique représentant la colonne vertébrale de ce projet de recherche.

Le chapitre 1 consiste en une introduction concernant le processus décisionnel et une revue des approches décisionnelles classiques en politiques publiques et de leur évolution paradigmatique. Dans ce chapitre, nous examinons aussi le niveau d'analyse du processus décisionnel de ces approches et nous établissons le bilan concernant la capacité de ces approches analytiques à appréhender le niveau micro du processus décisionnel en politiques publiques. Enfin, nous définissons le cadre conceptuel de l'émergence décisionnelle et les démarches nécessaires pour appréhender cette émergence.

Le chapitre 2 traite de la théorie de la complexité ou théorie des systèmes complexes et de son articulation avec l'analyse des politiques publiques. Nous effectuons le lien conceptuel entre la théorie de la complexité et le processus décisionnel en politiques publiques. Nous démontrons aussi la nécessité de la modélisation et de la simulation du processus décisionnel pour appréhender ce processus et apporter une compréhension et une explication du phénomène d'émergence décisionnelle.

Le chapitre 3 consiste en une revue de la théorie des courants multiples qui constitue une approche d'articulation entre la théorie de la complexité et le processus d'émergence

décisionnelle. Nous faisons le bilan de cette articulation qui fait ressortir les caractéristiques fondamentales de l'émergence décisionnelle et la nature dynamique, incertaine et ambiguë, qui caractérise l'environnement micro du processus décisionnel et des entités qui le constituent.

Cette revue et ce bilan nous acheminent vers une transition méthodologique qui permet d'appréhender les facteurs et la dynamique au niveau micro du processus décisionnel qui ne sont pas pris en considération par les approches analytiques classiques. Il s'agit de la logique floue, une méthodologie et une technique de l'intelligence artificielle qui permet de traiter le processus d'émergence décisionnelle caractérisé par l'imprécision, l'incertitude et la subjectivité du raisonnement humain.

Au chapitre 4, nous traitons des notions de l'intelligence artificielle, de la logique floue et des ensembles flous comme approche adéquate pour traiter notre question de recherche et effectuer la transition méthodologique visée par ce projet. Nous détaillons ensuite les techniques développées par la théorie de la logique floue, à savoir les systèmes à inférence floue et la modélisation et simulation de ces systèmes à l'aide de la plateforme Matlab et du module *Fuzzy Logic Toolbox*.

Le chapitre 5 est la concrétisation de la transition méthodologique qui se traduit par la construction d'un modèle de diagnostic décisionnel en politiques publiques. C'est un modèle de simulation de l'émergence décisionnelle qui a lieu dans l'environnement micro du processus décisionnel et que nous avons appelé *PODESIM (Policy Decision Emergence Simulation Model)*. Dans ce chapitre, nous effectuons aussi une étude de cas dans un objectif de validation du modèle, étape nécessaire dans toute démarche de modélisation et simulation. La validation est effectuée à l'aide de cas réels pour lesquels nous disposons d'informations suffisantes pour alimenter les simulations. Cette validation permet de déterminer si le modèle représente le système réel et de s'assurer de la crédibilité de ses postulats et de la cohérence des résultats qu'il fournit.

Les résultats sont par la suite analysés au chapitre 6 et comparés avec les faits réels qui caractérisent le cas étudié. Ce chapitre traite aussi de l'évaluation du modèle et de ses forces et aborde ses limites et ses incertitudes.

Enfin, nous mettons en évidence les contributions originales et l'innovation apportée par cette thèse au chapitre 7 et nous finissons par la conclusion qui décrit les principales étapes de ce projet de recherche. Cette conclusion suggère aussi des pistes de recherches complémentaires dans l'optique de renforcer la modélisation et la simulation en politiques publiques et en administration, et de contribuer à la progression des connaissances et des méthodologies dans le nouveau champ de recherche appelé *Computational Public Policy*² en vue d'une transition vers l'« analytique de politiques » ou *Policy Analytics*³.

² Ce terme est proposé par Ashu M. G. Solo qui le présente comme un nouveau champ de recherche ayant pour objectif de regrouper les techniques informatiques et mathématiques pour résoudre des problèmes en politiques publiques. Ce champ inclut les principes et les méthodes du champ des politiques publiques et de la prise de décision ainsi que la modélisation, la simulation, l'optimisation et la prévision. Voir : Solo, A. M. G. (2014). « The New Interdisciplinary Fields of Public Policy Engineering and Computational Public Policy ». In A. M. G. Solo (Ed.), *Political Campaigning in the Information Age*. Hershey, PA:IGI Global.

³ *Policy Analytics* est un nouveau champ technique qui traite de la transformation numérique (ou digitale) dans le domaine des politiques. Ce champ vise l'exploitation de données avec des méthodes évoluées et l'intégration d'outils informatiques pour la prise de décision et l'élaboration de politiques.

1. PROCESSUS DÉCISIONNEL ET APPROCHES ANALYTIQUES : NIVEAUX D'ANALYSE ET ÉVOLUTION PARADIGMATIQUE

[A] “decision” is only a part of a decisional process that began long before the specific decision was made... The momentary act of decision, on which so much of the literature of “decision making” focuses, may be little more than pro forma.

Green, 1966, p. 205

L'analyse des processus décisionnels⁴ en politiques publiques est nécessaire pour explorer et expliquer les facteurs, les mécanismes, les étapes et les circonstances qui engendrent la prise de décision. Selon Hassenteufel (2011), l'analyse décisionnelle est à la fois la dimension la plus évidente de l'analyse des politiques publiques et l'une des plus problématiques. Cet intérêt d'explorer un aspect aussi important que le processus décisionnel en politiques publiques a engendré des interrogations épistémologiques notamment reliées à la compréhension des mécanismes et des facteurs qui mènent à une prise de décision ou du moins à des circonstances décisionnelles.

Ces considérations épistémologiques ont suivi une évolution aussi bien temporelle que conceptuelle et méthodologique, qui prend en compte des facteurs et des mécanismes divers et de plus en plus nombreux. Cette diversité de facteurs et de mécanismes qui sous-tendent la prise de décision complexifie le processus décisionnel, mais contribue aussi à enrichir l'analyse décisionnelle et à broser un tableau de plus en plus détaillé de ce processus qui mène aux choix faits par les acteurs en position de décider. Ce processus a une importance primordiale pour explorer et interpréter les choix faits par les décideurs, puisque « the way

⁴ Le processus décisionnel peut être considéré comme un flux progressif et adaptatif constitué de plusieurs ensembles hétérogènes de facteurs et de mécanismes évoluant du niveau micro au niveau macro, qui engendrent des circonstances susceptibles de mener à une prise de décision.

decisions are made can shape the eventual choice. That is, an actor could arrive at different outcomes depending on the decision process » (Mintz et De Rouen, 2010, p. 4).

En conséquence, l'analyse du processus décisionnel représente un moyen de comprendre et d'expliquer ce qui se passe à l'intérieur de la « boîte noire » décisionnelle.

L'importance de l'analyse décisionnelle tient à ce que les divers mécanismes, de plus en plus nombreux, font en sorte que la prise de décision constitue le noyau dur du champ de l'analyse de politiques publiques. Toute politique publique est le résultat d'une décision et le fruit d'un processus décisionnel qui la sous-tend.

Concernant l'évolution paradigmatique, les études font remonter l'analyse décisionnelle en politiques publiques aux préceptes de la rationalité et de sa conception du décideur en tant qu'acteur rationnel dans sa démarche décisionnelle. Par la suite, cette vision a été remise en question par la notion de rationalité limitée (Simon, 1955) et par le concept d'incrémentalisme (Lindblom, 1959).

L'ajout de concepts liés à la politique organisationnelle et bureaucratique représente une étape complémentaire dans cette remise en question de la rationalité. Ces concepts font intervenir une multitude d'acteurs et de réseaux administratifs qui prennent part à la prise de décision politique (Allison, 1971).

Enfin, l'apport d'éléments cognitifs et une dynamique stochastique dans les processus décisionnels (Cohen, March et Olsen, 1979) constitue un prolongement de cette remise en question.

Ces étapes constituent un progrès des approches analytiques et représentent un développement paradigmatique de l'analyse décisionnelle. Ce développement a intégré de multiples apports multisectoriels dans une tentative de saisir la diversité et la pluralité des mécanismes qui interviennent dans le processus décisionnel et qui déterminent les circonstances et les raisons de la prise de décision en politiques publiques.

Ces apports ont engendré des modèles analytiques qui ont marqué ce cheminement méthodologique et épistémologique, modèles qu'Allison (1971) qualifie de *conceptual lenses*, nécessaires pour décrire et expliquer la réalité.

1.1. Les approches analytiques

Les approches décisionnelles analytiques en politiques publiques que nous exposons dans cette section constituent les principaux modèles décisionnels classiques en analyse de politiques publiques et représentent les grandes étapes du développement paradigmatique et épistémologique de l'analyse décisionnelle en politiques publiques.

Ces modèles ou approches abordent la prise de décision en politiques publiques sous différents aspects et soulèvent des caractéristiques diverses, mais complémentaires, du processus décisionnel à des niveaux d'analyse différents. Nous décrivons ces modèles dans une perspective d'identification de leur potentiel analytique du processus décisionnel et, plus particulièrement, du niveau d'analyse de ce processus.

1.1.1. Le modèle rationnel

Le modèle rationnel est un classique de l'analyse décisionnelle en politiques publiques. Il est inspiré de la rationalité « instrumentale » qui stipule que les actions effectuées par le décideur ou l'acteur rationnel en vue de prendre une décision reposent sur les postulats suivants (Allison, 1971; March, 1994; Green et Shapiro, 1996; Allison et Zelikow, 1999) :

- Le décideur a identifié le problème et il a défini des buts et des objectifs bien déterminés.
- Il dispose de l'information complète et objective qui lui permet de hiérarchiser et d'évaluer les alternatives disponibles et leurs conséquences afin d'optimiser ses choix.
- Il sélectionne la solution la plus avantageuse dans le but de maximiser ses bénéfices et ses avantages tout en minimisant les coûts et les inconvénients.

Ce cadre d'analyse a suscité de nombreuses critiques en raison de plusieurs faiblesses.

Tout d'abord, la question de la rationalité des acteurs, fondement du modèle, est remise en question par plusieurs qui affirment qu'elle peut être toute relative. La rationalité des décideurs politiques peut être limitée par des règles institutionnelles ou par des usages et valeurs réduisant la rationalité des décideurs et limitant les choix décisionnels (March et Simon, 1993; Allison, 1971; Green et Shapiro, 1996). De plus, dans le processus de prise de décision, l'acteur ne peut se soustraire à l'environnement politique qui est marqué par l'incertitude, l'instabilité et le manque d'informations complètes et fiables qui permettent de procéder à une analyse objective de l'enjeu et des alternatives.

Faisant le lien avec l'appareil administratif, Allison et Halperin (1972) jugent que le modèle rationnel est incomplet et remettent en cause la rationalité même des décideurs. Ils affirment que ce modèle

[...] obscures the penitently neglected fact of bureaucracy: the "maker" of government policy is not one calculating decision-maker, but rather a conglomerate of large organizations and political actor who differ substantially about what their government should do and who compete in attempting to affect both governmental decisions and the actions of their government (p. 42).

Par ailleurs, l'ensemble des postulats du modèle lui confère une orientation linéaire et déterministe qui occulte un grand nombre de facteurs et de mécanismes influents et décisifs au sein du processus décisionnel. Parmi ces facteurs, certains auteurs évoquent la perception des décideurs, l'incertitude et le risque qui ne permettent pas de procéder à une évaluation objective des enjeux et des alternatives, de leur mise en œuvre et de leurs conséquences (March et Simon, 1993). D'autres qualifient le modèle rationnel d'idéal-type éloigné de la réalité ou remettent en question son utilité méthodologique, étant donné le caractère intangible de ses postulats.

Green et Shapiro (1996), par exemple, ont soulevé l'aspect empirique et la question de la réfutabilité du modèle de l'acteur rationnel. Ces auteurs affirment que l'application empirique de ce modèle souffre du syndrome récurrent de l'échec méthodologique. Ces

faiblesses sont notamment reliées à la formulation abstraite des postulats du modèle, au caractère non mesurable des facteurs auxquels le modèle fait allusion, et surtout, à la difficulté – voire l'impossibilité – d'opérationnalisation d'éventuelles variables issues des postulats du modèle de l'acteur rationnel.

Enfin, sur le registre cognitif et de la subjectivité des décideurs, Legrand (2001) affirme qu'« une des conditions de base pour que le décideur puisse prendre une décision rationnelle au sens plein du terme serait [donc] qu'il puisse disposer d'une perception objective de l'environnement opérationnel et d'un pouvoir intégral d'anticipation dans son jeu » (p. 97). March (1996) précise aussi qu'« Although decision makers try to be rational, they are constrained by limited cognitive capabilities and incomplete information [...] » (p. 9).

Les limites du modèle de l'acteur rationnel soulevées par la critique démontrent que ce modèle ne permet pas d'analyser le processus décisionnel dans son intégralité et ne peut pas saisir les leviers de l'émergence décisionnelle au niveau micro. Pour autant, Morin (2013) soutient qu'« il ne faut pas renoncer à la rationalité » (p. 69).

Pour conclure, le modèle de l'acteur rationnel est confronté depuis ses débuts à la critique et certains ont compensé ses lacunes en mettant de l'avant le concept de rationalité limitée (Simon, 1957). Ce concept considère que l'information accessible aux décideurs est toujours imparfaite pour garantir un comportement rationnel, d'autant plus que les décideurs sont aussi influencés par des limites et des biais cognitifs. Par ailleurs, force est de constater que le modèle rationnel a pour objectif d'analyser la prise de décision au niveau systémique le plus haut du processus décisionnel, c'est-à-dire à la phase quasi finale. Autrement dit, une fois que l'enjeu, les alternatives et les circonstances décisionnelles sont déjà suffisamment identifiés par le décideur.

1.1.2. Le modèle incrémental

En parallèle au développement du concept de rationalité limitée par Simon, Lindblom (1959) élabore une alternative au modèle de l'acteur rationnel et propose le modèle incrémental. Cet auteur a jugé que le modèle de l'acteur rationnel est descriptif et théorique et peut répondre

à l'analyse d'une prise de décision individuelle. Il affirme que le modèle rationnel ne correspond pas à la réalité de la prise de décision en politiques publiques, car la rationalité est souvent jugée *a posteriori*, une fois que la décision est déjà prise.

Selon Lindblom, une décision politique ne repose pas sur l'action d'un décideur unique, mais elle tient compte de plusieurs impératifs politiques et contraintes organisationnelles.

Lindblom propose donc de recourir à une approche décisionnelle qui reflète la réalité observable, qui consiste en une progression gradualiste composée de multiples pas incrémentaux. Ces pas incrémentaux dans la prise de décision traduisent un processus de marchandage entre divers acteurs dont le fonctionnement est assuré par la persuasion, les discussions et la négociation plutôt que par des analyses systématiques, du genre de celles que prônent les partisans de l'approche rationnelle (Gortner, Mahler et Nicholson, 1993).

Ce processus aboutit à l'option décisionnelle qui représente un consensus entre les parties, ce qui implique que les décideurs soient enclins à faire des concessions et des compromis, en plus de se limiter à quelques alternatives qui satisfont un certain *statu quo* (Lindblom, 1959).

Lindblom soutient aussi que les contraintes dues au temps, aux coûts et aux limites intellectuelles des décideurs ne permettent pas d'identifier toutes les alternatives possibles et d'analyser leurs conséquences. Pour cette raison, le processus décisionnel exige des changements par petits pas et des ajustements à partir de la situation existante et de l'expérience des décideurs. Ce qui implique un effort de persuasion et de ralliement des parties concernées en vue de leur adhésion aux options retenues.

Bien que Lindblom considère le modèle incrémental utile pour l'analyse décisionnelle, les critiques lui reprochent son idéalisme, car il ne prend pas en considération la concentration des pouvoirs et l'inégalité dans le marchandage entre les parties impliquées dans la démarche décisionnelle. Andrews, par exemple, affirme que :

Critics of Lindblom assert that incrementalism is the rational procedure sometimes but not all of the time (Breheny and Hooper 1985; Smith and May 1980). There are decisions in which expert contributions to substantive rationality are essential, [...] In such cases, the goodness of

decisions depends equally on their procedural and substantive elements (cité dans Fisher, Miller et Sydney, 2007, p. 163).

Kingdon (2014) soutient aussi que « Incrementalism describes parts of the process, particularly the gradual evolution of proposals or policy changes, but does not describe the more discontinuous or sudden agenda change » (p. 19).

En effet, le modèle incrémental considère globalement que les décisions en politiques publiques sont une continuité des activités précédentes avec quelques changements incrémentaux. Autrement dit, les processus décisionnels ne prennent pas nécessairement en considération tous les aspects susceptibles d'influencer la prise de décision ou de privilégier certaines alternatives par rapport à d'autres (Lindblom, 1959). Il demeure donc à un niveau d'analyse systémique du processus décisionnel, celui des acteurs décideurs et de leur entourage proche.

D'ailleurs, Etzioni affirme que dans le modèle incrémental, les options innovatrices ne sont pas considérées et, tout compte fait, les décisions sont un peu prises à l'aveuglette (dans Gortner, Mahler et Nicholson, 1993). De plus, dans sa dimension politique, l'approche incrémentale exclut d'importantes couches de la population, ce qui favorise l'inertie et sert principalement les intérêts de gens influents, en ignorant les valeurs intangibles (Gawthrop, 1971; Etzioni, 1967; cités dans Gortner, Mahler et Nicholson, 1993).

Enfin, hormis le fait que le modèle incrémental ne se prête pas à l'opérationnalisation en vue de saisir les leviers de l'émergence décisionnelle, il n'aborde pas l'environnement micro du processus décisionnel. De plus, il ne semble pas prendre en compte la dynamique qui caractérise les processus décisionnels, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la sphère politique où plusieurs forces gravitent autour du pouvoir pour faire valoir leurs choix; ce qui limite, en définitive, le nombre d'options à considérer lors de la prise de décision.

1.1.3. Le modèle bureaucratique

Poursuivant la piste des alternatives au paradigme réaliste jugé incomplet, Allison (1971), à travers l'étude du processus décisionnel en politique internationale concernant la crise des missiles de Cuba de 1962, a entrepris l'analyse décisionnelle de cet événement en tant que processus intégrant des paramètres organisationnels et des actions réciproques au sein de l'appareil de l'État.

L'approche d'Allison considère que les institutions publiques, qui ont leurs propres motivations politiques et organisationnelles, jouent un rôle important dans la prise de décision en politique, à travers l'interaction entre les acteurs au sein de la machine gouvernementale. L'intégration de ces aspects dans la démarche analytique a permis à Allison de mettre en lumière les rivalités entre les différentes bureaucraties et unités qui influencent la prise de décision ou qui y participent. L'essence même de l'approche bureaucratique d'Allison, contrairement au réalisme classique, consiste donc à se pencher sur ce qui se passe à l'intérieur de l'appareil de l'État et sur le rôle des multiples acteurs institutionnels dans le processus décisionnel. Selon Allison et Zelikow (1999), ces acteurs sont le plus souvent guidés par des intérêts ou des objectifs autres que stratégiques et globaux. Les auteurs décrivent l'action gouvernementale et les décisions en tant que :

Intranational political resultants; resultants in the sense that what happens is not chosen as a solution to a problem but rather results from compromise, conflict, and confusion of officials with diverse interests and unequal influence; political in the sense that the activity from which decisions and actions emerge is best characterized as bargaining along regularized channels among individual members of government (p. 294, 295).

Ceci pose les jalons du modèle bureaucratique, dont l'objectif est de rendre compte du rôle des administrations publiques dans la prise de décision, rôle marqué par les règles administratives et les jeux de pouvoir qui animent ces bureaucraties.

Contrairement au paradigme réaliste, le modèle bureaucratique prend en considération la multiplicité des acteurs au sein de l'appareil gouvernemental et l'influence de ces acteurs à travers le marchandage et les canaux d'influence au sein de l'appareil gouvernemental.

Cette approche intègre aussi la routine administrative dans le processus décisionnel comme un des facteurs influençant la dynamique décisionnelle et le jeu des influences. Allison et Halperin (1972) soutiennent que « What emerges is also importantly affected by constraints, in particular by the routines of organisations in supplying information and options, and by shared values within the society and the bureaucracy » (p. 51).

Le modèle bureaucratique soulève donc des interrogations sur l'identité des acteurs et leur influence réelle sur la prise de décision, mais aussi sur la relation et les échanges qui existent entre les différents acteurs et bureaucraties à plusieurs niveaux. L'importance et l'influence de chaque unité dépendent de la position que celle-ci occupe dans la pyramide du pouvoir, tel que précisé par Allison (1971) qui soutient que : « where you stand depends on where you sit » (p. 176).

Par ailleurs, les bureaucraties ne s'imposent pas toujours d'elles-mêmes dans le processus décisionnel. Ce sont les leaders politiques qui font appel aux organisations publiques pour chercher de l'assistance et combler un déficit de renseignements ou d'expertise. Or, les renseignements fournis par ces unités bureaucratiques peuvent être biaisés et obéir aux intérêts de ceux qui les produisent. Les unités administratives ou bureaucratiques sont susceptibles d'influencer les décisions en fournissant une information filtrée, choisie et présentée comme fiable et appropriée aux décideurs.

Cette situation entraîne une compétition entre les différentes bureaucraties qui tentent de faire valoir leurs points de vue et de favoriser leurs choix en prenant en compte leurs préoccupations organisationnelles et corporatistes avant toute autre considération. Par contre, la compétition entre bureaucraties pourrait parfois s'avérer bénéfique. L'implication de plusieurs organisations dans la prise de décision « can result in multiple advocacy of rival choices, thus improving the chance that all possible policy options will be considered » (George, 1972; cité dans Kegley, Shannon et Blanton, 2011, p. 65).

En fin de compte, cette dynamique bureaucratique pourrait simplement générer une décision qui soit « un compromis ou une sorte de décision minimale, un arbitrage, ou bien l'option de

la victoire unilatérale d'une faction sur les autres » (Legrand, 2004, p. 87), réduisant ainsi les avantages de considérer diverses alternatives.

Parmi les critiques formulées à l'égard du modèle bureaucratique, certains affirment que cette approche peut « mener à la survalorisation du poids des sous-unités administratives et de leurs éthos corporatistes, au détriment du poids des décideurs ultimes » (Legrand, 2004, p. 87). Par ailleurs, du fait que chaque unité impliquée cherche à promouvoir ses intérêts, il en résulte que « different groups pulling in different directions produce a result, or better a resultant – a mixture of conflicting preferences and unequal power of various individuals – distinct from what any person or group intended » (Allison, 1971, p. 145). De plus, les unités bureaucratiques s'appuient sur des routines organisationnelles qui ne permettent pas d'explorer toutes les options possibles, car elles sont susceptibles de fonctionner selon des démarches subséquentes établies, ce qui se traduit par l'absence de plusieurs facteurs et mécanismes qui font partie de la dynamique décisionnelle.

Concernant le potentiel empirique du modèle bureaucratique, Michaud soulève plusieurs des critiques formulées à l'égard de cette approche, même par son propre concepteur. Il conclut que :

S'il existe une critique où la théorie de la politique bureaucratique est plus vulnérable, c'est au niveau des lacunes méthodologiques : l'état original du modèle nous présente une situation où il s'avère en effet très difficile de l'opérationnaliser [...] surtout par le difficile accès à l'information nécessaire à l'opérationnalisation tout autant qu'à l'empreinte déformante que le temps peut induire (Michaud, 1996, p. 779).

En mettant l'accent sur le rôle des bureaucraties dans le processus décisionnel, ce modèle néglige plusieurs facteurs. Il constitue un prisme à travers lequel il est possible d'analyser l'influence des bureaucraties dans la démarche décisionnelle, mais, seul, ce modèle n'est pas suffisant pour explorer le processus décisionnel dans toute sa complexité. D'ailleurs, dans une édition mise à jour, Allison et Zelikow (1999) concluent que les trois modèles traités dans leur ouvrage doivent être conjugués pour pouvoir analyser la prise de décision, en l'occurrence le modèle rationnel, le modèle organisationnel et le modèle bureaucratique.

À cela, nous ajoutons le fait que le modèle bureaucratique analyse la prise de décision au niveau des acteurs principaux, c'est-à-dire les décideurs et l'appareil d'État. Il ne soulève pas les caractéristiques du processus décisionnel à un niveau plus détaillé où des facteurs et des mécanismes sont en jeu et dictent parfois la suite de la démarche décisionnelle.

1.1.4. Le modèle des « anarchies organisées » ou *Garbage Can Model*

Le développement théorique a été poursuivi par Cohen, March et Olsen (1979) à travers des analyses décisionnelles au sein d'institutions universitaires qu'ils considèrent comme des « anarchies organisées ». Ces auteurs ont développé une approche qu'ils ont appelée *Garbage Can Model* et ils soutiennent que « To understand processes within organizations, one can view a choice opportunity as a garbage can into which various kinds of problems and solutions are dumped by participants as they are generated » (p. 2).

Selon ces auteurs, il y a autant de problèmes en attente de solutions que de solutions en attente de problèmes. Les problèmes étant parfois une donnée pas tout à fait déterminée, les intervenants proposent alors des solutions à des problèmes potentiels.

Ce modèle stipule que la prise de décision est un processus caractérisé par l'ambiguïté et l'incertitude. Les acteurs n'ont pas toujours des objectifs clairs et définis, et ils ne maîtrisent pas forcément les mécanismes décisionnels, ce qui ne permet pas de considérer et d'évaluer toutes les options et alternatives. La décision est donc le produit aléatoire de la rencontre contingente entre quatre flux : celui des problèmes, celui des solutions, celui des participants et celui des occasions de choisir. Il s'agit donc d'un processus que personne ne maîtrise véritablement, ce qui conduit ces auteurs à parler d'anarchie organisée (Hassenteufel, 2011).

De plus, Cohen, March et Olsen affirment que le nombre de participants et la fréquence de leurs interventions sont toujours en fluctuation, ce qui ne permet pas de saisir l'ensemble du processus, d'autant plus que la participation des acteurs est incertaine, et leur autonomie négligée. Les interdépendances entre les acteurs et les inégalités de ressources ne sont pas non plus prises en compte, ce qui conduit à accentuer le caractère anarchique des actions (Hassenteufel, 2011).

Gortner, Mahler et Nicholson (1993) affirment que les concepteurs du modèle concluent que la prise de décision n'est pas un processus permettant d'atteindre des objectifs précis en choisissant des moyens considérés optimaux. Ils affirment que le modèle des « anarchies organisées » est une approche descriptive et, implicitement, un modèle de prise de décision bureaucratique qui n'a pas été suffisamment étudié pour explorer son potentiel analytique en politiques publiques.

Enfin, Hassenteufel (2011) conclut que le modèle de Cohen, March et Olsen ne peut pas servir comme représentation fidèle des processus décisionnels. Par contre, il précise que ce modèle permet de souligner la nécessité de prendre en compte la multiplicité des acteurs impliqués par la décision. Le modèle des anarchies organisées soulève aussi des aspects qui touchent aux mécanismes et à la dynamique du processus décisionnel, dont le caractère aléatoire, la pluralité des acteurs et la complexité des situations qui se manifestent à un moment donné du processus décisionnel. Cependant, il considère que la prise de décision demeure tributaire de la combinaison simultanée de divers facteurs en fonction du temps et du tri qui se fait à la suite de cette combinaison (March, 1994), propriétés qui ne se prêtent guère à l'opérationnalisation et au traitement de cas réels.

Au sujet du processus décisionnel et du facteur temps, March (1994) affirme que « in an environment characterized by complex interactions among actors, solutions, problems, and choice opportunities, the simplest source of order is that of time » (p. 198).

Il soutient aussi que « In a garbage can process, it is assumed that there are exogenous, time-dependent arrivals of choice opportunities, problems, solutions, and decision makers [...] almost any solution can be associated with almost any problem – provided they are evoked at the same time » (p. 200). Il conclut que « the results produced by the system depend on the timing of the various flows and on the structural constraints of the organization » (p. 201).

Le modèle constitue donc un agrégat de plusieurs démarches décisionnelles. Il évoque la rationalité de certains acteurs qui expliquent leurs actions en termes d'alternatives et de conséquences de leurs préférences, pendant que d'autres choisissent des options satisfaisantes ou assez bonnes, actions qui sont plutôt caractérisées par une rationalité limitée.

De plus, March soulève le caractère instable des règles et des arrangements institutionnels, qui fait que certaines décisions peuvent paraître adéquates dans certaines circonstances et inadéquates dans d'autres, suggérant une influence organisationnelle.

Dans son ouvrage de 1994, March traite aussi de la prise de décision politique et évoque à nouveau la possibilité de simulation du GCM en définissant certains paramètres des flux du modèle. Malgré cette évolution, le modèle demeure théorique et la possibilité de l'opérationnaliser en vue de traiter des cas réels présente des difficultés certaines, notamment en raison de la caractérisation de ses variables et de leurs paramètres. D'ailleurs, Cohen, March et Olsen (1972) précisent que les anarchies organisées peuvent être décrites au mieux comme une collection d'idées plutôt que comme une structure cohérente. À cela, Daft (2010) ajoute que « The unique characteristics of the garbage can model is that the decision process is not seen as a sequence of steps that begins with a problem and ends with a solution [...] Decisions are the outcome of independent streams of events within the organization. » (p. 471).

Par contre, March (1994) fait allusion à d'autres perspectives en concluant que : « The idea of decision making gives meaning to purpose, to self, to the complexities of social life [...] It is hard enough to make sense of the simple things without discovering they are really not as simple as they look » (p. 271, 272). En affirmant cela, March soulève la nature complexe du processus décisionnel qui s'ajoute à la dynamique déjà mise en évidence par ce modèle, mais sans pour autant explorer cette complexité.

Appréhender cette complexité de la réalité et le sens des choses qui semblent simples exige une vision et une démarche pluridisciplinaires auxquelles la théorie de la complexité est susceptible de contribuer.

D'ailleurs, il y a un peu plus de deux décennies, Axelrod (1995) et Gilbert (1995) préconisaient déjà la nécessité de procéder aux analyses décisionnelles à l'aide d'outils méthodologiques nouveaux, dans des conditions « virtuelles », pour appréhender la complexité inhérente des processus décisionnels.

1.1.5. Conclusion concernant les approches analytiques

Dans cette section, notre objectif ne consiste pas à faire une ontologie des modèles décisionnels en politiques publiques, mais de traiter les principales approches dans le but de faire un bilan méthodologique et en tirer les conclusions en lien avec notre projet de recherche.

La revue des principales approches analytiques décisionnelles en politiques publiques nous éclaire sur deux aspects fondamentaux : le premier est relié à la méthodologie que chaque modèle a développée dans le but d'appréhender la prise de décision, et le second concerne l'évolution paradigmatique et épistémologique de l'analyse décisionnelle en politiques publiques.

Chacun des modèles nous renseigne sur certains éléments de la prise de décision, mais ils n'explorent pas le processus décisionnel dans son intégralité et surtout ils ne traitent pas de l'environnement micro de ce processus. Ces modèles ont été développés dans une perspective analytique qui a permis l'accumulation de démarches explicatives au niveau systémique du processus décisionnel. Les limites de chacun des modèles ont engendré des développements subséquents qui ont constitué l'évolution paradigmatique de l'analyse décisionnelle en politiques publiques.

À travers cette revue, nous constatons que les modèles présentés ont eu, chacun, un apport analytique et une manière d'appréhender la prise de décision en marquant une certaine progression dans l'analyse du processus décisionnel et en ajoutant une couche de détails à l'analyse de ce processus. Cette progression a pour objectif de saisir de plus en plus la dynamique du processus décisionnel en explorant ses divers niveaux de détails et en identifiant ses mécanismes, de plus en plus nombreux et interreliés, en allant de l'approche rationnelle, par nature déterministe et linéaire, au modèle des anarchies organisées, qui soulève la complexité inhérente au processus décisionnel.

La rationalité comme fondement de tous les phénomènes qui a engendré le modèle rationnel en analyse de politiques publiques correspond à la conception instrumentale de l'ordre

positiviste de la réalité. Les limites constatées du modèle rationnel ont engendré les approches cumulatives subséquentes.

L'incrémentalisme de Lindblom (1959) est une réponse à la dynamique grandissante qui caractérise la prise de décisions et les politiques publiques. L'approche incrémentale favorise les actions à petits pas qui peuvent être continuellement révisés et évalués (Geyer et Rihani, 2010).

Allison, quant à lui, a précisé que, dans toute décision de politique publique, on trouve trois processus qui rivalisent et interagissent, à savoir les actions rationnelles, les processus organisationnels (bureaucratiques) et la dynamique politique.

Enfin, le modèle des anarchies organisées a introduit plusieurs notions complémentaires au sein du processus décisionnel, qui mettent en relief le caractère complexe et imprécis de ce processus à un niveau plus profond. Parmi ces notions, on retrouve l'incertitude, l'ambiguïté, les actions aléatoires, la pluralité des entités d'un système et, enfin, l'absence de contrôle individuel sur l'environnement décisionnel.

Ce modèle ajoute aussi de nouvelles variables à la démarche décisionnelle, telles que les problèmes ou les opportunités de choix, mais ces variables concernent le niveau systémique ou macro du processus décisionnel et demeurent surtout de nature descriptive et narrative.

Pour conclure, ces approches analytiques ont contribué à la progression graduelle de l'analyse décisionnelle et dénotent des transitions résultant en un cumul de plusieurs strates paradigmatiques qui révèlent une continuité plus qu'une rupture.

Cette progression a commencé par la certitude qui caractérise la rationalité décisionnelle et continué par une forme de compromis entre les divers intervenants ou acteurs de la démarche décisionnelle pour enfin soulever la complexité du processus décisionnel (Geyer et Cairney, 2015), mais sans proposer des outils adéquats pour l'appréhender.

La figure 1.1 illustre le progrès paradigmatique en analyse décisionnelle depuis les années 1950.

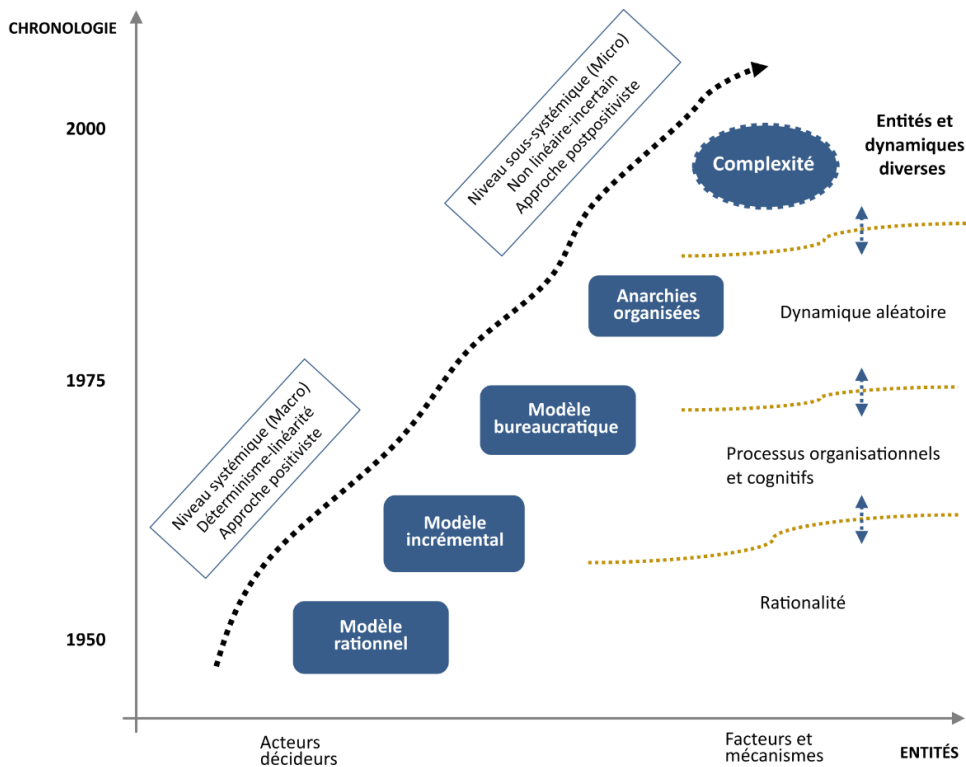


Figure 1.1 Évolution paradigmatique de l'analyse décisionnelle

Nous pouvons tirer de cette progression paradigmatique que ces approches analytiques n'analysent que le niveau systémique ou macro du processus décisionnel, qui décrit la vision globale du processus, celui des acteurs et des décideurs. Ces approches réduisent la démarche décisionnelle à la seule prise de décision et au moment du choix décisionnel.

Simon (1997) affirmait déjà que cette démarche est peu soutenable. Il affirme que « All the images falsify decision by focusing on the final moment » (p. 40). De plus, il est établi que la décision est le résultat d'un processus qui est, selon Yetiv (2011), « what happens in decision-making prior to choice » (p. 202).

En conséquence, aucune de ces approches analytiques ne traite de la dynamique de l'environnement micro du processus décisionnel, ni des entités qui le composent.

Ce niveau micro est pourtant un environnement prédécisionnel symbolisant la matrice qui engendre les circonstances décisionnelles, que nous avons appelées « émergence

décisionnelle ». C'est un environnement constitué de plusieurs entités et facteurs dont la dynamique non linéaire ne correspond pas à un idéal type en particulier et ne peut être appréhendée par un modèle d'analyse déterministe et linéaire.

Pour résumer cette différence, nous pouvons affirmer que les analyses du niveau macro, ou systémique, du processus décisionnel tentent d'expliquer comment se comporte le système; alors qu'une exploration du niveau micro a pour objectif d'identifier les facteurs et la dynamique qui sont à la base du comportement du système.

Nous présentons dans la figure 1.2 la synthèse des notions développées dans ce chapitre concernant les niveaux d'analyse du processus décisionnel qui montre l'exploration du processus décisionnel par les approches analytiques et sa progression dans les profondeurs de ce processus, du niveau macro au niveau micro.

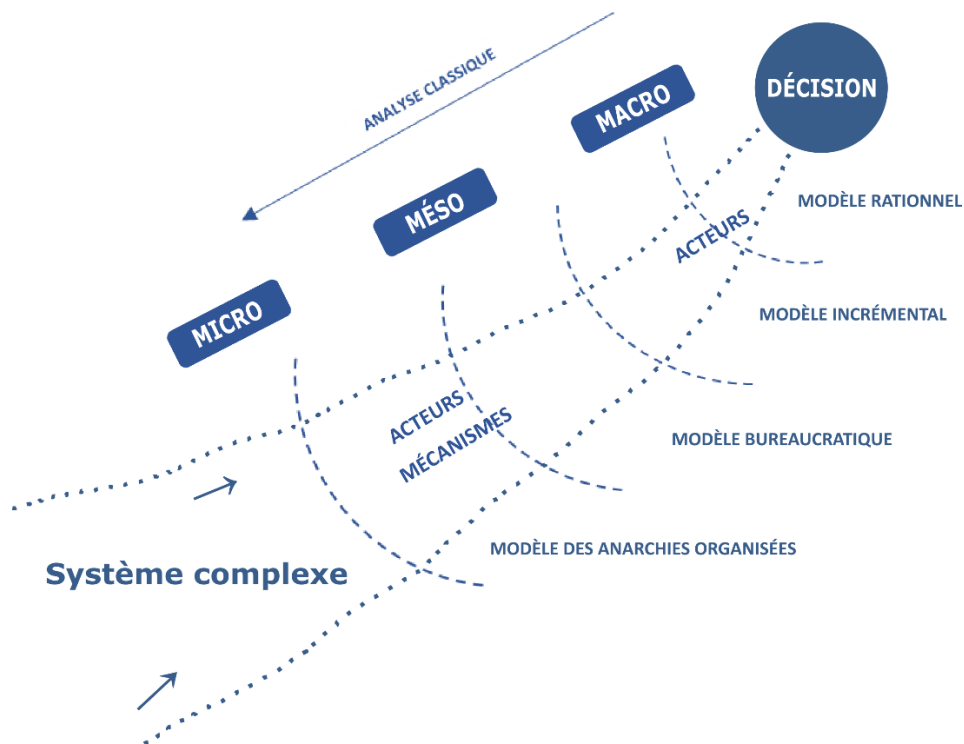


Figure 1.2 Niveaux d'analyse du processus décisionnel

Le tableau 1.1 est un sommaire de nos conclusions concernant les caractéristiques des divers niveaux d'analyse du processus décisionnel.

Tableau 1.1 Les niveaux d'analyse du processus décisionnel et leurs caractéristiques

Niveau	Approche	Entités d'analyse	Dynamique	Nature de l'information	Type de raisonnement
MACRO	Modèle rationnel	Système Acteurs décideurs Nombre très limité	Très faible (contrôle centralisé)	Complète Claire Précise	Linéaire Déterministe Direct
	Modèle incrémental	Système Acteurs décideurs Nombre limité	Faible (contrôle centralisé)	Complète Claire À préciser	Linéaire Déterministe Graduel
MÉSO	Modèle bureaucratique	Système Acteurs décideurs Bureaucrates Nombre moyen	Moyenne (contrôle fragmenté)	Incomplète Imprécise	Graduel Incertain
	Modèle des anarchies organisées (Garbage Can)	Système Acteurs Mécanismes Variables Grand nombre	Forte (contrôle fragmenté)	Incomplète Imprécise Incertaine	Graduel Non linéaire
MICRO	Système complexe	Composants du système Variables Facteurs Dynamique Très grand nombre	Complexe Stochastique (absence de contrôle)	Incomplète Imprécise Incertaine Vague	Approximatif Non linéaire Incertain Ambigü

Dans notre projet, nous explorons le niveau micro et les diverses entités qui le composent, car il représente la source de l'émergence décisionnelle en politiques publiques et est identifié comme un environnement complexe.

1.2. L'émergence décisionnelle : un système complexe

La revue des modèles analytiques a démontré que le niveau micro du processus décisionnel est un environnement qui n'est pas pris en compte par ces modèles malgré son importance dans le phénomène de l'émergence décisionnelle. À ce niveau micro, ce sont davantage les multiples et divers facteurs qui ont un rôle important, voire déterminant, dans l'émergence décisionnelle, mais ces facteurs ne sont pas explorés. Certaines approches évoquent la nature complexe de ce niveau d'analyse, mais ne proposent pas de méthodologies pour l'appréhender; et notre revue des modèles analytiques a démontré que nous ne disposons pas d'outils adéquats en analyse de politiques publiques pour traiter ce système complexe.

En effet, un système complexe possède des propriétés que nous pouvons attribuer à l'émergence décisionnelle qui représente l'environnement micro du processus décisionnel en politiques publiques. Ces propriétés sont la multiplicité des entités qui constituent le système, les interrelations évolutives de ces entités, la dynamique non linéaire et non déterministe entre les entités qui engendre le comportement global du système. Ce comportement global ne peut être prédit ou déduit des propriétés individuelles des entités.

De plus, un système complexe est caractérisé par l'absence d'équilibre permanent qui permet de prédire son évolution, l'absence de liens directs de causes à effets et enfin l'absence de contrôle de l'ensemble du système par une seule entité. L'environnement micro du processus décisionnel possède toutes ces caractéristiques.

Les conclusions de ce chapitre nous amènent donc à explorer la théorie des systèmes complexes pour identifier les outils offerts par ce champ disciplinaire qui permettent de caractériser et d'appréhender le niveau micro du processus décisionnel, c'est-à-dire l'environnement de l'émergence décisionnelle.

2. SYSTÈMES COMPLEXES ET POLITIQUES PUBLIQUES

So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality.

Albert Einstein

La théorie des systèmes complexes, ou théorie de la complexité⁵, est généralement présentée comme « a new approach to science in which we identify (and then explain) systems or processes that lack the order and stability required to produce universal rules about behaviour and outcomes. » (Cairney, 2012, p. 2). Cette théorie est considérée comme un tournant historique, voire révolutionnaire, par rapport aux approches scientifiques classiques. Certains la qualifient même de défi aux approches positivistes en science politique et au « paradigme de l'ordre » qui est caractérisé par le déterminisme, le réductionnisme, la linéarité et la prédiction (Geyer et Rihani, 2010).

Geyer et Cairney (2015) affirment que « complexity theory represents a major problem for positivist studies driven by a belief in objectivity and linear cause and effect » (p. 7). Ils rappellent que la théorie de la complexité est un nouveau paradigme scientifique et une nouvelle façon de penser, de comprendre et d'étudier le monde en perpétuelles fluctuations. Ils soutiennent également que « complexity theory suggests that what we call "real" is a brief snapshot of a world that is always in flux. Consequently, to advance our study of policymaking in a complex world, we need to understand the problematic ways in which policymakers see and respond to it » (p. 6).

Cairney (2012) n'hésite pas à affirmer que la théorie de la complexité « represents a profoundly new way to examine politics; a paradigm shift in the social sciences that will help

⁵ La plupart des ouvrages qui traitent de la complexité affirment qu'il n'y a pas une théorie unifiée de la complexité, mais que c'est le concept de complexité et les propriétés des systèmes qualifiés de complexes qui induisent des méthodologies et des techniques pour appréhender ces systèmes et qui diffèrent selon le domaine et le contexte étudié.

replace rational choice theory and shift our focus of explanation from individualistic to holistic accounts. » (p. 355). Autrement dit, la théorie de la complexité « requiert le renoncement à certaines idées reçues et la confrontation à de nouveaux challenges [...] il faut désapprendre la relation de *cause à effet* entre une multitude locale et un global en devenir » (Collard, Verel et Clergue, 2013, p. 19). Ce changement de paradigme et ses conséquences sont d'ailleurs soulignés par Morin (2005) qui affirme que « Ce qui affecte un paradigme, c'est-à-dire la clé de voûte de tout un système de pensée, affecte à la fois l'ontologie, la méthodologie, l'épistémologie, la logique, et par conséquent la pratique, la société, la politique. » (p. 73).

Au-delà de ces conceptions, la théorie de la complexité est un champ interdisciplinaire dont la vocation est l'étude et la compréhension des systèmes complexes. Elle offre des méthodes et des techniques spécifiques à cette fin. L'étude des systèmes complexes a fait de grands progrès tant du point de vue des méthodes que de la formalisation. Le champ d'application des systèmes complexes est très vaste et touche tous les domaines, incluant l'analyse de politiques (Bourcier, Mazzega et Boulet, 2012).

C'est surtout à partir du milieu des années 1990 que la complexité inhérente aux politiques publiques et aux processus décisionnels a commencé à marquer la recherche en analyse de politiques. Geyer et Rihani (2010) affirment que « what has been emerging since the 1990s has been a blossoming of complexity based works in a variety of policy sub-areas » (p. 31).

Mais d'abord, rappelons que la nature complexe des processus politiques a fait l'objet de développements au sein de la discipline, avec des approches qui ont ébranlé la définition, généralement acceptée, de politique publique, à savoir qu'une politique publique est ce que les gouvernements choisissent de faire ou de ne pas faire. Morçöl (2010) affirme que « More sophisticated conceptualizations of public policy processes reject this simplistic and instrumentalist view and acknowledge that policy processes are complex ». Il cite à titre d'exemple les travaux d'Ostrom (1990, 2005) concernant le cadre IAD (*Institutional Analysis and Development framework*), Sabatier et Jenkins-Smith (1993) et leur *Advocacy Coalition Framework*, ou encore Koppenjan et Klijn (2004) et leur *Network Governance Theories*.

Morçöl (2010) affirme que ces trois exemples, parmi d'autres, conçoivent les politiques publiques comme des systèmes multicouches peuplés d'individus et d'agrégats d'acteurs et dans lesquels les processus de politiques publiques sont conçus en termes de relations entre les niveaux micro et macro. Il en conclut que « The recognition of the complexity of policy processes by these theorists opens up the space where a complexity theory of public policy can be built » (p. 52).

Les travaux cités par Morçöl ont facilité l'introduction récente de la théorie de la complexité en politiques publiques et en analyse décisionnelle. Geyer et Rihani (2010) soutiennent que l'étude de la complexité dans divers champs de politiques publiques « shows how quickly complexity has moved from the fringes of social science theory to the day-to-day of policy decision-making » (p. 31).

D'une façon plus explicite, Colander et Kupers (2014) avancent l'argument suivant au sujet des enjeux publics :

The interconnected nature of the problems we are facing doesn't fit the standard frame's simplified assumptions. Complexity science came about in an attempt to understand these kinds of highly interconnected systems. The complexity frame provides a new way to look at problems, and it is already starting to influence policy discussion (p. 17).

Cependant, comment décider si une méthode issue de la théorie de la complexité est plus adéquate qu'une approche conventionnelle, se demandent Colander et Kupers.

À cette question, ils fournissent la réponse suivante : « the more dynamically and tightly interrelated the parts are, the more likely the complexity frame will be the more useful one [...] In complex system, in principle, everything influences everything else » (p. 15).

Afin de clarifier la différence fondamentale entre la conception analytique classique et l'approche complexe, Colander et Kupers (2014) précisent aussi que « In the standard social science policy model the dynamic interconnections among agents in the society are suppressed and their importance hidden by the assumptions of the model. In the complexity frame they are not » (p. 15). Ils mettent cependant en garde sur le fait que les modèles de

systemes complexes representent des limites qu'il faut tolerer puisqu'il est techniquement impossible de saisir et de represente toute la dynamique et toutes les interactions d'un systeme complexe.

Par ailleurs, Colander et Kupers (2014) ajoutent que « In the complexity frame, scientific models provide vision for policy, not an answer for policy » (p. 16). Ils insistent sur le fait que « Including the complexity frame is not just a nice addition to the policy menu; it's an absolute necessity » (p. 17) et ils precisent que « The fact that order can emerge from the bottom up has enormous implications for policy that have not been built into the standard policy narratives » (p. 105).

Ces auteurs soutiennent aussi que « This phenomenon of sudden emergent phase transition is an important pattern of complex systems that undermines linear empirical estimating processes, such as linear regression analysis » (p. 121). Ils regrettent toutefois le fait que « all too often policy is conducted on the basis of the assumption that past trends are an indication for the future, and the relationships do not exhibit such phase transitions » (p. 121).

Finalemnt, toujours selon Colander et Kupers (2014), « The complexity frame offers new ways for policy makers to search for pragmatic answers to our intractable problems » (p. 17) alliant le developpement theorique de la complexite a la pratique des politiques publiques.

Ils sont rejoints par Caillosse (2010) qui affirme que les politiques publiques deviennent un sujet a part entiere pour la theorie des systemes complexes dans la mesure ou les politiques traditionnelles dites « lineaires » echouent sur la complexite des reseaux d'acteurs et de normes impliquees dans le choix du legislateur.

Les conclusions de plusieurs auteurs demontrent non seulement le caractere complexe des politiques publiques contemporaines, mais justifient aussi le recours a la theorie de la complexite pour traiter des enjeux de politiques publiques et des processus decisionnels, fortement imprignes de complexite.

Par ailleurs, Rhodes *et al.* (2010) affirment que « complexity is a source of innovation because it allows things that would not otherwise be combined to be brought together in

unexpected ways » (p. 192). En s'appuyant sur plusieurs études, ces auteurs affirment que l'introduction de la théorie de la complexité et de ses techniques permet de revigorer l'analyse de politiques.

Quant à Boulet, Mazzega et Bourcier (2012), ils incitent à davantage de recours à la théorie de la complexité et à ses méthodologies dans le domaine de l'analyse des politiques publiques. Ces auteurs affirment que :

L'analyse de politiques publiques, tous cadres confondus, représente certaines limites de description et d'explication et montre que le domaine des politiques publiques peut à juste titre être qualifié de complexe, et qu'en retour les outils méthodologiques dédiés à l'étude et à l'analyse des systèmes complexes trouvent un vaste champ d'investigation (et d'application) encore très peu exploré (p. 127).

En ce qui concerne l'évolution disciplinaire récente, l'étude des systèmes complexes a accompli de grands progrès avec le développement de nouveaux outils et de nouvelles méthodes. Ces méthodes permettent aujourd'hui de traiter la complexité des processus politiques et d'aller au-delà des approches réductionnistes et linéaires. Colander et Kupers (2014) soutiennent que :

The complexity frame is developing now because of advances in computational and analytic technology, which have made it possible to formally analyze issues that previously were too complicated to analyze. Advances in the complexity toolkit are allowing scientists to formally conceptualize relationships and processes that previously couldn't be formalized, or seemed so blurry as to be seen as beyond science (p. 48).

Autrement dit, la théorie de la complexité permet d'explorer des mécanismes et des processus dont le traitement ne pouvait se faire d'une façon satisfaisante avec des outils traditionnels. C'est la force de cette théorie qui apporte une vision plus complète de l'analyse des processus politiques en permettant de démystifier et de mieux comprendre la complexité du monde réel.

2.1. Propriétés des systèmes complexes

La notion de complexité en sciences humaines et sociales n'est pas nouvelle. Simon (1962) décrivait déjà un système complexe en tant que :

[...] one made up of a large number of parts that interact in a non-simple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts [...] given the properties of the parts and the laws of their interaction, it is not a trivial matter to infer the properties of the whole (p. 468).

Par ailleurs, Mitleton-Kelly (2003) affirme que « The theories of complexity provide a conceptual framework, a way of thinking, and a way of seeing the world » (p. 3).

Ces propos sont appuyés par Sawyer, qui soutient que la théorie de la complexité réfère aussi bien à la théorie des systèmes qu'à la théorie de l'émergence. L'émergence étant définie par Sawyer (2005) comme « the processes whereby the global behavior of a system results from the actions and interactions of agents » (p. 2).

L'idée fondamentale qui sous-tend tout système complexe est l'émergence d'un phénomène global au niveau macroscopique du système engendré par une dynamique entre ses constituants (Holland, 1995). Un système complexe est donc un ensemble entrelacé, difficilement décomposable en parties séparées ou en processus indépendants, à cause des interrelations entre ses divers constituants (Gershenson et Heylighen, 2005) qui déterminent son évolution.

D'autres affirment que « complex systems display properties that cannot be understood by just looking at the properties of the individual components, but are created as a result of the structure and organised interactions between these components » (Nikolic et Kasmire, dans van Dam, Nikolic et Lukszo, 2013, p. 18).

Collard, Verel et Clergue (2013), pour leur part, soutiennent que « Lorsque l'on ne peut plus totalement "diviser" un système en parties indépendantes, on glisse du compliqué vers le complexe : les comportements globaux résultants deviennent *émergents* et l'interdépendance des composants s'exprime alors dans un réseau d'interactions non linéaires qui est à la source de la complexité » (p. 3).

Ces auteurs précisent d'ailleurs que « la référence à l'existence de nombreux éléments n'est pas une condition suffisante à l'émergence de la complexité. » (p. 3). Autrement dit, il faut qu'il y ait une dynamique au sein du système qui fait émerger un comportement au niveau

macroscopique et qui représente la conséquence de cette dynamique. C'est ce qu'on appelle le phénomène d'émergence. Weisbuch et Zwirn (2010) affirment qu'on parle de comportement émergent dans le sens où, au niveau global, des propriétés inattendues ou contre-intuitives apparaissent.

L'émergence est qualifiée par certains de comportement « génératif », qui traduit l'apparition de comportements globaux impossibles à prévoir à partir de la seule structure locale de chaque constituant (Weisbuch et Zwirn, 2010; Epstein, 2006). Autrement dit, une même configuration au niveau micro ne génère pas nécessairement le même comportement au niveau macro si la dynamique et les interrelations entre les constituants du système sont différentes.

Ces attributs qui caractérisent les systèmes complexes ne permettent pas de les appréhender avec des modèles mathématiques linéaires ou des méthodes analytiques conventionnelles. Les systèmes complexes ne sont pas réductibles à la somme de leurs constituants et leur évolution n'obéit pas à des lois physiques ou mathématiques faciles à déterminer (Weisbuch et Zwirn, 2010).

Ces auteurs ajoutent que « Le comportement des systèmes complexes peut être sujet à des transitions de phase qui se manifestent par un changement soudain de grande ampleur, ou même une transformation qualitative, lors d'une variation faible d'un des paramètres de contrôle » (p. 2).

Par ailleurs, les systèmes complexes sont loin d'être en équilibre même s'ils tendent vers des formes d'équilibre précaires puisque « in complex systems, nonlinear systems can have many different possible outcomes, not just a single one. » (Colander et Kupers, 2014, p. 53). Cette absence d'équilibre permanent représente une autre caractéristique importante des systèmes complexes, car ces systèmes « have a tendency to change suddenly, as the system shifts from one equilibrium to another » (p. 53). Ces auteurs précisent que « At best, complex systems can be influenced – not controlled. » (p. 104).

Enfin, toutes ces caractéristiques font en sorte que les systèmes complexes demeurent des environnements ouverts et sans aucun contrôle global par les entités qui les composent. Ils peuvent donc intégrer de nouvelles entités (Le Moigne, 1999) et se défaire de certains constituants en fonction du contexte.

Au-delà de ces notions explicatives nécessaires à la compréhension de la théorie des systèmes complexes, notre objectif est de rechercher comment cette théorie peut nous aider à appréhender l'émergence décisionnelle, dont les propriétés lui confèrent la qualité d'un système complexe, tel que nous l'avons décrit dans la section 1.2.

Par ailleurs, nous avons expliqué que les systèmes complexes ne peuvent être appréhendés par des modèles analytiques traditionnels et qu'ils nécessitent des approches adéquates qui incitent à l'innovation. Koliba et Zia (2012) soutiennent d'ailleurs que :

Traditional models are not able to address all aspects of complex policy interactions, which indicates the need for the development of hybrid simulation models consisting of a combinatory set of models built on different modeling theories (cité dans Janssen, Wimmer & Deljoo, 2015, p. 7).

Par ailleurs, Siegfried (2014) ajoute que « The analysis of many systems, processes and phenomena is often only feasible by developing simulation models and executing them using vast amounts of computer power. ». Il en conclut que « Due to the complexity to be represented within models and increasingly detailed representation of dynamic behavior, simulation is often the only choice for analyzing such models » (p. 1).

Quant à Janssen et Wimmer (2015), ils affirment que :

In policy implementation and execution, many actors are involved and there are a huge number of factors influencing the outcomes; this complicates the prediction of the policy outcomes. Simulation models are capable of capturing the interdependencies between the many factors and can include stochastic elements to deal with the variations and uncertainties (p. 6, 7).

Ces auteurs soutiennent aussi que « Simulation models do not rely on mathematical abstraction and are therefore suitable for modeling complex systems (Pidd 1992) » (p. 7). Ces propos sont soutenus par Le Moigne (1999) qui affirme que « pour comprendre et donc donner du sens à un système complexe, on doit le modéliser pour construire son intelligibilité (compréhension) » (p. 19).

Toutes ces affirmations nous permettent de conclure qu'il est nécessaire de recourir à la modélisation et la simulation pour traiter l'émergence décisionnelle en tant que système complexe. Nous présentons cette méthodologie dans la section suivante.

2.2. Modélisation et simulation des systèmes complexes

D'entrée de jeu, la modélisation et la simulation⁶ sont des techniques alternatives aux approches classiques déterministes qui, nous l'avons vu, sont inadéquates pour appréhender les systèmes complexes. Siegfried (2014) soutient que « The basic terms (*complex*) *system*, *modeling* and *simulation* are often used together and indeed, they are deeply connected. » (p. 11).

Précisons que, généralement, dans les sciences sociales, « l'expérimentation est impossible et l'observation incertaine [...] le sociologue doit recourir à la *modélisation* pour représenter la réalité à partir d'éléments épars qu'il a pu recueillir. » (Durand, 2010, p. 63).

Le Moigne (1999) ajoute à ces propos que « modéliser un système complexe, c'est modéliser d'abord un système d'actions » (p. 45). Quant à Quéau (1986), il soutient qu'« Entre la théorie et l'expérience, entre la formalisation mathématique et l'observation phénoménologique, la simulation offre une troisième voie : l'exploration algorithmique » (p. 147).

⁶ Pour une revue historique et paradigmatique de la modélisation et simulation, voir : John A. Sokolowski & Catherine M. Banks (2009). *Modeling and Simulation for Analyzing Global Events*. Chapitre 1.

Dans une optique qui se rapproche de celle adoptée dans notre projet, Edmonds et Gershenson soulèvent l'intérêt de la modélisation et de la simulation en ces termes :

For policy and decision-making, models can be an essential component, as models allow the description of a situation, the exploration of future scenarios, the valuation of different outcomes and the establishment of possible explanations for what is observed (cité dans Geyer et Cairney, 2015, p. 205).

Ces propos renforcent notre choix de la modélisation et simulation comme méthodologie appropriée pour traiter l'émergence décisionnelle en politiques publiques, d'autant plus qu'Axelrod (1997) soutient que la simulation permet de comprendre et d'identifier les leviers d'une politique publique.

2.2.1. La simulation

Treuil, Drogoul et Zucker (2008) soutiennent que d'une façon générale, la simulation est l'activité à partir de laquelle, suivant des objectifs précis, et avec l'aide d'un mécanisme expérimental (appelé simulateur), un expérimentateur perturbe la dynamique du modèle pour comprendre son fonctionnement. La simulation est donc une sorte d'expérimentation abstraite (Axelrod, 1997) ou de laboratoire virtuel qui permet de cerner la logique qui sous-tend le comportement des agents et du système complexe qu'ils forment.

Epstein et Axtell (1996) affirment, quant à eux, que la simulation permet d'explorer le comportement global d'un système, au niveau macro, à partir des interactions entre les constituants de ce système à l'échelle micro. Elle a une vocation exploratoire et explicative (Axtell *et al.*, 2002; Epstein, 1999). C'est-à-dire qu'elle permet de tester, de comprendre et d'expliquer des situations qui représentent la réalité. D'ailleurs, Helbing et Balmelli (2012) affirment que « if properly done, computer simulations can deliver reliable results beyond the range of analytical tractability » (p. 26). Autrement dit, la simulation est une technique de recherche et d'expérimentation.

Par contre, si Mace et Pétry (2000) soutiennent que la simulation présente plusieurs avantages pour le chercheur, notamment celui d'étudier un problème pratique ou théorique sans

référence à des données empiriques, ils précisent que cette technique comporte toutefois quelques risques. En effet, la qualité de ses résultats varie selon la compétence et la prudence de l'utilisateur, surtout au moment de la construction du modèle, puisque l'élaboration et l'arrangement des symboles mathématiques résultent des choix personnels du chercheur.

Toutefois, les avantages de la simulation demeurent assez importants. En effet, la simulation joue un double rôle de support « expérimental » et de générateur de connaissances et de théories. Moss et Edmonds (2005) affirment que la simulation est un outil puissant qui peut enrichir les sciences sociales en générant et en validant des preuves empiriques et des connaissances théoriques. Ces connaissances sont générées à travers la combinaison des démarches inductive et déductive, qui caractérisent la simulation des systèmes complexes.

Pour ce qui est de la simulation en politiques publiques, Hoffman (2008) affirme que « If one could capture essential elements of an actual social system, it would make testing policy scenarios relatively quick and easy » (p. 199). La simulation des scénarios peut être très utile pour la prise de décision et la prévision des actions politiques, mais aussi et surtout, un modèle de simulation « can lead to insights into where there might be policy leverage in the real world » (Axelrod, 1997, p. 143). Ceci concerne non seulement les décideurs politiques, mais aussi l'administration publique chargée de mettre en œuvre les politiques publiques.

Enfin, puisque la simulation consiste à tester des situations représentatives de la réalité, elle nécessite de construire des modèles représentatifs de cette réalité. C'est à la modélisation que revient le rôle de fournir cette représentation.

2.2.2. La modélisation

La modélisation est l'action de construire des modèles qui représentent, selon Sokolowski et Banks (2009), des approximations du monde réel. Sterman (2000) précise davantage la notion de modèle et de modélisation en affirmant que « Models are developed to facilitate the solving of real world problems. Modeling is also a part of the learning process. It is an iterative, continual process of formulating hypotheses, testing and revision, of both formal and mental models » (p. 83).

Treuil, Drogoul et Zucker (2008), tout en affirmant qu'il existe un grand nombre de définitions et d'interprétations du terme « modèle » selon la discipline et le point de vue épistémologique, soutiennent qu'un modèle est :

Une construction abstraite qui permet de comprendre le fonctionnement d'un *système de référence* en répondant à une *question* qui le concerne. *Représentation simplifiée* de ce système, un modèle s'appuie sur une *théorie générale* et est exprimé dans un langage spécifique appelé *langage de modélisation* (p. 1).

Tout modèle est donc une simplification abstraite du système qu'il décrit, c'est-à-dire qu'il ne comprend pas nécessairement toutes les propriétés du système réel, mais permet de représenter ce qui est complexe d'une manière compréhensible. Morçöl (2012) affirme que « Because it is not possible to describe all the details of complex systems, researchers use simplified models that capture their essential elements » (p. 234).

Ce compromis fait en sorte qu'un modèle nécessite la formulation d'hypothèses afin de traiter cette adaptation du réel. Railsback et Grimm (2012) affirment, pour leur part, que « We build and use models to solve problems or answer questions about a system or a class of systems » (p. 4), ce qui donne une touche pratique au concept de modèle. Cependant, ces auteurs précisent que tout modèle doit poursuivre un objectif spécifique. Ils affirment que l'objectif d'un modèle est décisif et que cet objectif guide le choix des entités qui doivent composer le modèle et le degré de détail du système modélisé, d'autant plus qu'en ce qui concerne les politiques publiques et la prise de décision, « models can be an essential component, as models allow the description of a situation, the exploration of future scenarios, the valuation of different outcomes and the establishment of possible explanations for what is observed » (Edmonds et Gershenson, 2013).

En guise de conclusion, précisons que la modélisation réside dans l'abstraction et la représentation du système réel sous forme de modèle à l'aide de théories; et que la simulation consiste en une étape équivalente à l'expérimentation et à la mise à l'essai de ce modèle pour fins d'observation et de vérification du modèle.

Cette démarche nécessite donc des connaissances théoriques reliées au système étudié, un certain savoir-faire pour la détermination des entités qui constituent le modèle représentatif du système, la définition de son architecture et de sa dynamique interne et enfin l'utilisation d'une plateforme informatique pour procéder à la simulation et à la production de résultats.

Afin de concevoir des modèles représentatifs, le concepteur est donc tenu de conjuguer rigueur et jugement : la rigueur pour ce qui est du choix des entités du modèle et de leur agencement, et le jugement pour ce qui est des postulats et des règles qui régissent le modèle ainsi que du niveau de détails à inclure dans un modèle, car « the more detail that is included, the harder it is to follow the dynamics of the model [...]. Simpler, generic models capture fundamental dynamics. » (Hoffman, 2008, p. 198). Autrement dit, il faut respecter le principe de parcimonie qui privilégie la construction de modèles avec un nombre minimal mais adéquat d'entités et de postulats.

Enfin, rappelons que la modélisation représente toujours un compromis entre la représentation abstraite de la réalité, les exigences de simulation et le degré de précision recherché. Saunders-Newton précise à ce sujet que « A good model is not necessarily the one that is an isomorph of the actual system, but is rather one that can be used to perform crucial experiments that are useful in the context of an argument or problem [...] » (cité dans Harrison et Singer, 2006, p. 171).

Pour synthétiser les notions soulevées dans cette section, nous représentons dans la figure 2.1 le processus et le cycle de modélisation et de simulation.

Dans ce processus, le modélisateur s'inspire de la théorie qui décrit la réalité d'un certain système pour construire un modèle conceptuel qui est une représentation de ce système. Le modèle conceptuel doit comprendre et mettre en évidence les principales propriétés du système en question, c'est-à-dire les entités qui le composent, les règles qui le régissent et tout autre élément jugé nécessaire pour représenter le système réel. Ce modèle conceptuel devient une base d'expérimentation du système, c'est-à-dire de la simulation. Mais pour procéder à la simulation, le modèle conceptuel est traduit en un programme informatique qui

comprend les entités virtuelles du système, les règles qui le régissent et les postulats reliés à son évolution, que le praticien se charge de développer en fonction de son expertise.

L'expérimentation du modèle informatique permet de simuler une multitude de scénarios avec différentes valeurs des entités du système sous des conditions différentes et des situations diverses. Cette simulation permet d'observer le comportement et l'évolution du système et de s'assurer du fonctionnement du modèle informatique développé, ce qui représente une étape de vérification. Une fois la vérification effectuée, le modèle est alimenté par des données provenant de cas empiriques en vue de sa validation, c'est-à-dire dans le but de démontrer que le modèle est en mesure de traiter des cas réels.

Enfin, précisons que toutes ces étapes ont lieu dans un va-et-vient entre la théorie, les données et le cycle de modélisation et simulation. Ces environnements se nourrissent l'un de l'autre, que ce soit pour améliorer le modèle à partir des notions théoriques, des données et des résultats, ou en vue de développer des concepts théoriques inspirés par les résultats.

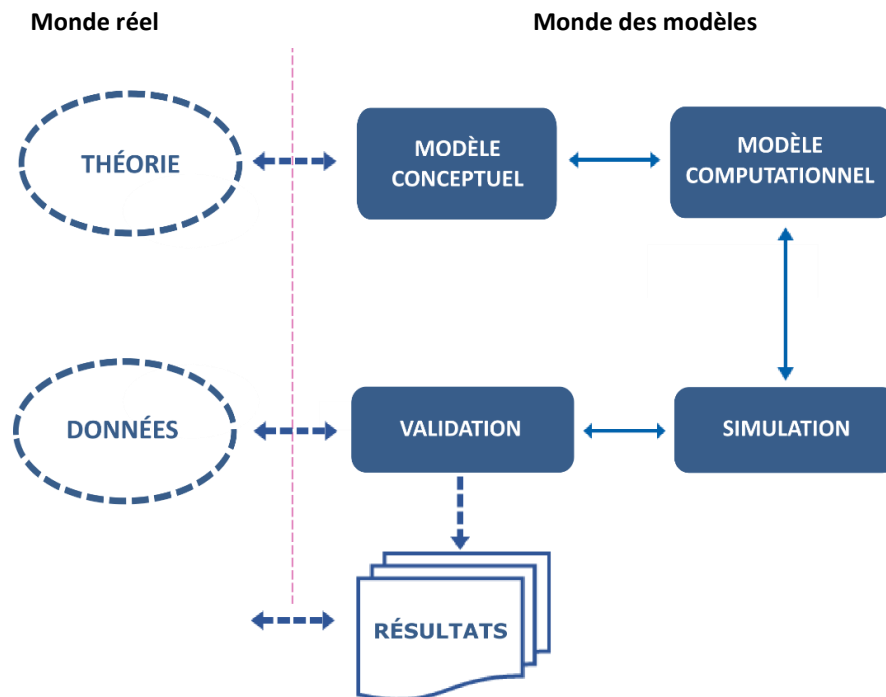


Figure 2.1 Processus et cycle de modélisation-simulation

Dans notre projet, pour procéder à la modélisation et la simulation de l'émergence décisionnelle, nous avons donc besoin de franchir deux étapes préliminaires.

La première étape consiste à identifier la théorie qui nous permet de construire le modèle conceptuel représentatif de l'environnement micro du processus décisionnel. Cette construction doit reposer sur des notions théoriques qui constituent l'articulation entre la modélisation de notre système complexe et les politiques publiques.

La deuxième étape consiste à choisir la méthodologie et la plateforme adéquates pour construire le modèle informatique et procéder à la simulation et à la validation du modèle. Or, pour procéder à la construction de notre modèle conceptuel et identifier ses entités, nous ne disposons pas d'une théorie qui traite de cet environnement micro du processus décisionnel, qualifié de système complexe. Selon Morçöl (2010), « This lack of a comprehensive framework in public policy applications may be because no coherent complexity theory exists in general yet, as Mitchell (2009: 14) acknowledges » (p. 52).

Cet auteur soutient que la contribution des théories d'analyse de politiques publiques est nécessaire en vue de traiter les processus politiques complexes et il suggère de faire appel à cette contribution (Morçöl, 2008). Cependant, aucune des approches décisionnelles que nous avons présentées au chapitre 1 ne traite de l'environnement micro du processus décisionnel, ni de la complexité de cet environnement.

Pour franchir cette limite, nous faisons appel à un outil issu de la théorie de la complexité qui est en mesure de nous guider vers l'agencement recherché. Il s'agit du diagramme de Stacey, concernant la prise de décision dans les organisations, adapté aux politiques publiques.

2.3. Le diagramme de Stacey : un outil de la complexité

En traitant le thème de la complexité et du management, Stacey⁷ a conçu un diagramme qui sert à identifier les diverses situations décisionnelles au sein des organisations. Ces situations

⁷ Voir : Ralph Stacey (2000). *Complexity and Management (Complexity and Emergence in Organizations)*, Routledge.

peuvent être simples, compliquées, complexes ou chaotiques. Le diagramme élaboré par Stacey est basé sur deux dimensions qui déterminent le degré de simplicité ou de complexité dans une démarche décisionnelle. Ces deux dimensions sont les degrés de certitude (*Certainty*) et de consensus (*Agreement*) au sein de l'environnement décisionnel.

Le diagramme de Stacey a inspiré les travaux en complexité et analyse décisionnelle dans le domaine des politiques publiques, tels que ceux de Geyer et Rihani (2010) et Geyer et Cairney (2015). Ces auteurs affirment que le diagramme de Stacey est un outil adéquat pour explorer la nature de la démarche décisionnelle en situation complexe.

En rapportant le diagramme de Stacey au champ des politiques publiques, ces auteurs expliquent qu'un haut degré de certitude et de consensus implique une bonne connaissance de l'enjeu qui mène à une décision de nature technique. C'est-à-dire une décision rationnelle, basée sur des données fiables et des analyses logiques, voire même sur une relation causale bien déterminée entre les paramètres en jeu, comme les décisions basées sur les preuves tangibles (*Evidence-based Decisions*).

Ces décisions sont aisément justifiables, car elles sont de nature technique. À l'opposé, ajoutent les auteurs, lorsque l'incertitude augmente et qu'on s'éloigne du consensus, le processus décisionnel tend vers la complexité, voire vers une situation anarchique.

Une situation anarchique est réputée propice au déni, car elle représente des situations ingérables que les décideurs préfèrent contourner.

La figure 2.2 représente le diagramme de Stacey et ses différentes zones décisionnelles en fonction des degrés de certitude et de consensus.

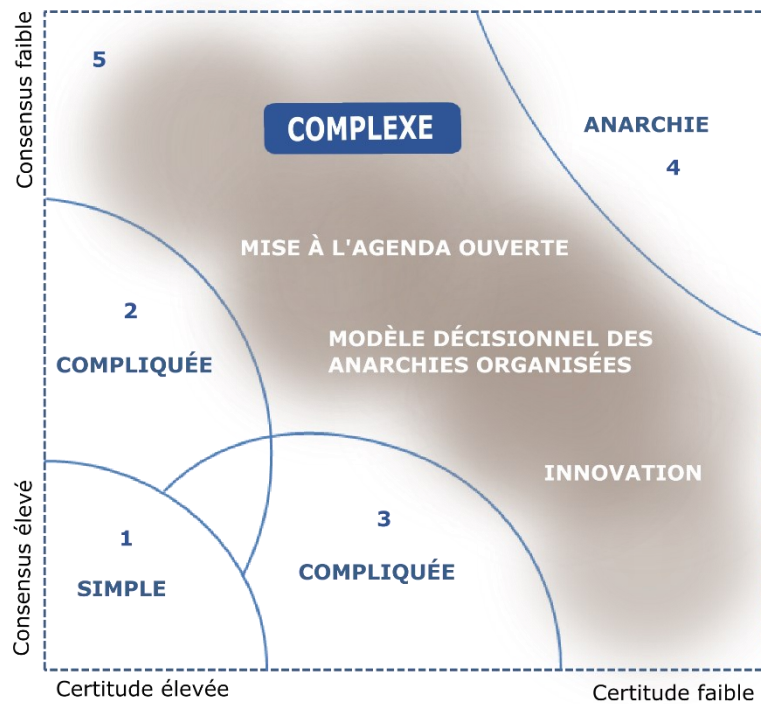


Figure 2.2 Diagramme de Stacey adapté aux politiques publiques (D'après Geyer et Rihani, 2010; Geyer et Cairney, 2015)

Dans cette représentation graphique, les zones décrivent la nature du processus décisionnel et les approches susceptibles d'appréhender et d'expliquer le processus d'émergence décisionnelle.

La zone 1, qui représente un haut degré de certitude et de consensus, décrit les situations généralement simples dans lesquelles la prise de décision ne représente pas de grands défis. Cette prise de décision est qualifiée de techno-rationnelle. Dans cette zone, l'enjeu, les solutions et les résultats sont connus à l'avance et les décisions sont faciles à prendre et à appliquer.

Les techniques et méthodes conventionnelles de résolution de problèmes, ou encore des protocoles et des procédures, s'appliquent facilement à des situations qui correspondent à cette zone.

Les zones 2 et 3 représentent des situations qui sont compliquées⁸. Ces situations impliquent un degré de difficulté variable selon le niveau de certitude par rapport à l'enjeu et de consensus entre les intervenants dans le processus décisionnel. Mais elles demeurent des zones d'ordre qui représentent des situations qui peuvent être analysées avec des approches conventionnelles. Ce sont des situations dans lesquelles on peut habituellement recourir à l'extrapolation du passé pour prévoir des actions futures. La zone 2 illustre une prise de décision démocratique, basée sur le compromis et la négociation. Par contre, la zone 3 représente une prise de décision basée sur le jugement et dans laquelle il y a accord sur les objectifs mais pas sur les moyens.

La zone 4 représente un haut niveau d'incertitude et de désaccord qui peut engendrer un effondrement ou une situation difficile, voire impossible, à gérer. C'est une zone d'anarchie⁹ qui suscite le déni et l'évitement de la part des décideurs.

Entre l'ordre et l'anarchie, nous trouvons la zone 5, qualifiée de zone de complexité. C'est une zone dynamique et de comportements émergents, où les relations causales ne sont pas déterministes. L'extrapolation est par conséquent quasi impossible, car le contexte de l'enjeu est souvent incertain. Selon Geyer et Rihani (2010), cette zone de complexité « requires a range of approaches to deal with complex situations (open agenda building, brainstorming, muddling through, etc.). Some of these approaches will have no evidence base but will be based on expert opinion and/or intuition » (p. 67). Ces auteurs soutiennent que « [...] trying to push all decision-making processes into the orderly area of Zone One is a maladaptive and dangerous practice. And yet, it is the underlying tendency of the traditional framework of policy making » (p. 67-68). Autrement dit, les enjeux complexes de politiques publiques doivent être traités avec des outils susceptibles d'appréhender cette complexité.

⁸ Le terme compliqué décrit un système divisible dont les entités ont un comportement déterministe. Le résultat global d'un tel système est souvent prévisible.

⁹ Stacey indique une zone de « chaos ». Nous avons choisi de remplacer ce terme par « anarchie » pour le distinguer du chaos dit déterministe, défini par la théorie du chaos en tant que phénomène qui dépend des conditions initiales du système et qui représente une forte récurrence.

Mais ce qui nous interpelle dans le diagramme de Stacey adapté par Geyer et Rihani (2010), ce sont les concepts de politiques publiques cités dans la zone de complexité et qui pourraient contribuer à appréhender le processus d'émergence décisionnelle comme phénomène complexe. Les deux concepts mentionnés sont la mise à l'agenda et le modèle décisionnel des anarchies organisées.

Dans le chapitre 2, nous avons démontré que le modèle décisionnel des anarchies organisées ne se prête pas à l'opérationnalisation et à la paramétrisation pour permettre la modélisation de l'émergence décisionnelle en tant que processus complexe. D'ailleurs, la tentative de simulation de ce modèle par ses propres concepteurs a été jugée triviale, déterministe et non représentative des processus complexes qui ont lieu dans les anarchies organisées¹⁰.

Par contre, les deux concepts sont intimement liés à la théorie des courants multiples de Kingdon (2014) qui, elle-même, est inspirée du modèle des anarchies organisées, et elle traite de la mise à l'agenda.

La théorie des courants multiples représente par conséquent un outil méthodologique susceptible de constituer l'articulation recherchée entre la théorie de la complexité et l'émergence décisionnelle en politiques publiques en vue de construire notre modèle conceptuel.

Nous traitons de cette théorie dans le chapitre suivant.

¹⁰ Voir à ce sujet : J. Bendor, T.M. Moe et K.W. Shotts (2001). « Recycling the Garbage Can: An assessment of the Research Program », *American Political Science Review*, 95, 169-190.

3. THÉORIE DES COURANTS MULTIPLES

*A little knowledge that acts is worth infinitely
more than much knowledge that is idle.*

Khalil Gibran

En développant la théorie des courants multiples, Kingdon a cherché à expliquer le processus d'élaboration ou de changement de politiques publiques, notamment l'inscription d'un problème ou d'un enjeu à l'agenda politique¹¹ comme première étape de ce processus.

Kingdon (2014) affirme que :

A search for origins of public policies turns out to be futile. Comprehensive, rational policy making is portrayed as impractical for the most part, although there are occasions where it is found. Incrementalism describes parts of the process, particularly the gradual evolution of proposals or policy changes, but does not describe the more discontinuous or sudden agenda change (p. 19).

Ce constat a amené Kingdon à s'inspirer du modèle décisionnel des anarchies organisées ou *Garbage Can Decision Model*, développé par Cohen, March et Olsen (1972), dédié à la prise de décision dans les institutions universitaires, et à l'adapter à l'élaboration de politiques publiques. Ses travaux « ont systématisé la réflexion sur l'agenda sous l'angle de la dynamique décisionnelle » (Lascoumes et Le Galès, 2007, p. 83).

3.1. Les courants multiples

La théorie des courants multiples conçoit « three process streams flowing through the system – streams of problems, policies, and politics. They are largely independent of one another, and each develops according to its own dynamics and rules » (Kingdon, 2014, p. 19).

¹¹ Certains préfèrent la notion d'ordre du jour. Nous croyons que le terme d'agenda est plus adéquat en analyse de politiques, car il représente plus qu'un ordre du jour gouvernemental.

Selon Kingdon (2014), ces courants représentent les dynamiques qui structurent l'action publique et politique. L'auteur précise qu'ils sont « largely governed by different forces, different considerations, and different styles » (p. 88). La possibilité d'élaboration ou de changement d'une politique publique est grande lorsque ces courants sont couplés, lors de l'ouverture d'une « fenêtre d'opportunité » ou fenêtre politique.

Nous passons en revue les courants définis par la théorie de Kingdon, non pas dans l'objectif de recenser les acteurs qui composent les trois courants, tâche ardue et risquée, mais pour explorer la manière dont cette théorie peut nous aider à construire un modèle conceptuel représentatif de l'émergence décisionnelle.

Dans cette revue, nous nous appuyons sur les travaux de Kingdon (2014), Zahariadis (2007) et Knoepfl *et al.* (2015).

3.1.1. Le courant des problèmes

Kingdon (2014) affirme que « problem definition and struggles over definition turn out to have important consequences » (p. 110). Autrement dit, la définition d'un problème implique un degré d'attention qu'on porte à l'enjeu en question et la nature de la solution disponible. Cette attention fait suite à la conception et à la catégorisation du problème par les divers acteurs et reflète le degré de visibilité du problème auprès des décideurs ainsi que leur perception du problème.

Les problèmes, selon Kingdon, peuvent provenir de différentes voies. Il y a d'abord la voie des indicateurs qui révèlent la présence ou l'apparition d'un problème. Ces indicateurs peuvent provenir de statistiques et de rapports produits par l'administration publique ou par d'autres instances concernant un enjeu en particulier, incluant des sondages. Mais ces indicateurs demeurent sujets à interprétation afin de déterminer l'ampleur du problème.

Ensuite, il y a les crises ou d'autres événements marquants qui sont à l'origine de l'apparition d'un problème. Or, ces crises et événements n'attirent pas nécessairement l'attention des décideurs, à moins d'atteindre certaines proportions jugées importantes ou carrément

alarmantes; encore faut-il que ces crises concernent un domaine jugé important par le public et qu'elles aient un impact sérieux, réel ou symbolique.

Un événement marquant peut surtout constituer un intérêt ponctuel important provoquant une mobilisation de plusieurs parties prenantes, telle qu'une crise internationale ou une guerre. Cependant, l'influence d'un événement marquant sur le processus décisionnel n'est pas certaine, surtout si l'impact de l'événement est limité dans le temps.

Enfin, il y a les rétroactions concernant des politiques et des programmes existants. Ces rétroactions peuvent attirer l'attention des décideurs sur les résultats et les conséquences d'un programme ou d'une politique en indiquant le degré de succès ou d'échec (Kingdon, 2014). Ces rétroactions proviennent de rapports d'évaluation et de suivis systématiques ou même de certaines doléances informelles.

Cependant, la description de ce courant et de ses caractéristiques demeure vague et ne fournit pas de facteurs faciles à opérationnaliser, hormis les indicateurs qui peuvent être mesurables dans certains cas, mais qui restent tributaires de l'appréciation des décideurs dans leur évaluation de l'ampleur d'un problème.

Knoepfl *et al.*, (2015) ont défini certains critères qui contribuent à identifier des facteurs reliés au courant des problèmes et qu'on peut résumer de la façon suivante :

- L'intensité du problème. Elle est jugée en fonction des conséquences estimées du problème sur le plan individuel et collectif et selon la perception des acteurs clés, en fonction du contexte et du temps chronologique. Ces conséquences s'expriment en termes de coûts financiers et humains que les acteurs présentent pour sensibiliser ou mobiliser la sphère décisionnelle et le public.
- Le périmètre (ou étendue) du problème. Cette dimension est étroitement reliée à la visibilité publique qu'on accorde à l'enjeu et consiste à exprimer l'étendue des conséquences du problème sur les groupes affectés, la sphère géographique affectée et la durée de ces conséquences. L'identification de ce périmètre nécessite, selon ces auteurs, la connaissance des zones de populations et/ou des régions qui sont ou seront

affectées par les effets négatifs du problème. De plus, le périmètre du problème peut affecter une zone clairement définie ou perçue comme étant « sans frontières », avec un risque potentiel de propagation lente ou rapide (Zahariadis, 2007, p. 133).

- L’urgence du problème. La nature du problème peut être jugée plus ou moins urgente selon le contexte. Dans des cas extrêmes associés à des crises par exemple, il y a potentiellement une ouverture de fenêtre d’opportunité et une mobilisation des acteurs impliqués.

Hormis ces critères, les auteurs mentionnent aussi des facteurs plus génériques tel que la nouveauté du problème qui exprime l’intérêt du public vis-à-vis du problème bien qu’ils précisent que les nouveaux problèmes et les nouvelles politiques soient plutôt rares (Zahariadis, 2007, p. 134). Ils affirment aussi que la nature du problème pourrait constituer un autre critère relié à la complexité du problème (Knoepfl *et al.*, 2015), tel que la complexité politique qui implique le nombre de parties impliquées, ou la complexité reliée aux causes du problème (unique ou multiples).

Malgré l’aspect imprécis de ces critères, qu’ils soient mesurables ou non, ils constituent des facteurs qui touchent à un niveau plus détaillé du processus décisionnel. Ils sont susceptibles d’être mis à contribution dans la définition et l’opérationnalisation d’un problème ou d’un enjeu public.

3.1.2. Le courant des solutions

L’émergence d’alternatives qui constituent le courant des solutions ou *policies* est un processus de sélection dans une sorte de *Policy Primeval Soup*, réservoir d’idées et de règles institutionnelles où « many ideas float around, bumping into one another, encountering new ideas, and forming combinations and recombinations. » (Kingdon, 2014, p. 200).

Le processus de sélection n’est pas le fruit du hasard, et les idées et solutions promues obéissent à certains critères pour figurer sur une liste restreinte que les décideurs prennent en considération. Kingdon affirme que ces critères incluent « technical feasibility, congruence with the values of community members, and the anticipation of future constraints, including

a budget constraint, public acceptability, and politicians' receptivity » (p. 200). Autrement dit, pour qu'une proposition viable soit choisie, il faut qu'elle représente un certain seuil pour atteindre l'agenda politique.

Kingdon conçoit ce seuil comme la résultante des critères de survie d'une proposition et qui nécessite un travail de *softening up* afin de rendre l'alternative faisable, acceptable et vue comme une solution appropriée et convenable au problème.

Ces précisions permettent de dégager les facteurs suivants qui touchent le courant des solutions :

- La convenance de la solution proposée. Elle indique si la solution est appropriée, voire incontournable, même si elle ne satisfait pas d'autres critères.
- La faisabilité opérationnelle et technique de la solution. Kingdon (2014) soutient que : « Without that belief in its technical feasibility, the proposal is not likely to survive to the point of serious consideration » (p. 132). Cette faisabilité inclut aussi le coût financier de la solution et son impact économique.
- L'acceptabilité qui exprime, selon Kingdon, la compatibilité de la solution proposée avec les valeurs dominantes. L'acceptabilité est renforcée lorsque la solution ou la politique s'inscrit dans le courant de la pensée dominante (*mainstream thinking*) du moment, même si les différents groupes ne partagent pas nécessairement les mêmes convictions et valeurs.

Par ailleurs, l'acceptabilité peut comprendre aussi les coûts et/ou les bénéfices de la solution proposée.

Ces facteurs du courant des solutions sont de nature descriptive imprécise, voire vague. Par contre, ils représentent des critères à un niveau plus profond que celui des courants. Ils peuvent donc être mis à contribution dans notre quête d'éléments fondamentaux de l'émergence décisionnelle.

3.1.3. Le courant politique

Indépendamment de la reconnaissance du problème et des propositions de solutions, le courant politique, ou celui du pouvoir public, évolue selon ses propres modalités. Il est caractérisé par les facteurs suivants :

- Le climat général ou le *national mood*. Ce paramètre traduit l'état de l'opinion publique ou les tendances du moment. Ce climat peut être favorable ou réfractaire aux actions du pouvoir politique. Le climat général est palpable à travers des sondages, des débats, des statistiques ou encore à travers un soutien tacite aux choix politiques ou un refus qui se manifeste par des actions organisées contre les choix politiques.

Kingdon (2014) soutient que « Developments in this political sphere are powerful agenda setters. A new administration, for instance, changes agenda all over town as it highlights its conceptions of problems and its proposals [...] » (p. 198).

Rappelons aussi que l'humeur populaire n'est pas le simple reflet de sondages d'opinions, mais dépend de tout un contexte social, culturel, intellectuel, idéologique et politique.

Par ailleurs, Zahariadis (1999) affirme que le courant de la politique traduit aussi l'idéologie et les orientations des formations partisans qui sont au pouvoir. Il précise que « parties tend to dominate the political stream and exercise considerable control over the shape of policy choices » (p. 80). Ce constat est important dans certains cas, par exemple ceux qui nécessitent une pondération des courants.

- La cohésion politique et le consensus au sein du pouvoir, qui traduisent l'absence de situations conflictuelles entre les diverses forces politiques et de militantisme de groupes contre les choix politiques. Ce facteur exprime aussi la cohésion au sein de l'équipe dirigeante au pouvoir.

Sur le thème de la cohésion, le courant politique peut aussi être soumis à une forme de marchandage au sein du pouvoir politique. Kingdon (2014) affirme que « Consensus is built in the political stream by bargaining more than by persuasion. » (p. 199). Il est aussi dominé par les tiraillements entre divers groupes de pression, plus enclins à orienter l'agenda gouvernemental selon leurs attentes et à empêcher les propositions qui ne leur sont pas favorables.

- La latitude du pouvoir politique en fonction des élections, des priorités et des prérogatives. Un changement récent au sein du pouvoir politique ou de l'administration à la suite d'élections ou de nominations par exemple offre souvent au pouvoir une nouvelle marge de manœuvre. Une crise peut aussi parfois fournir une plus grande latitude au pouvoir.

Les facteurs du courant politique sont encore plus marqués par l'incertitude et par une description qui fait allusion à des informations de nature vague et subjective. Malgré cette faiblesse, nous retenons ces facteurs descriptifs du courant politique puisque la théorie des courants multiples ne nous fournit pas plus de détails concernant le courant politique.

3.2. Bilan de la théorie des courants multiples

La théorie des courants multiples décrit un processus d'élaboration ou de changement de politiques qui émerge à la suite du couplage de trois courants autonomes définis par Kingdon. Ces courants comprennent chacun une dynamique propre qui vise à amener un enjeu public à l'agenda politique et à déclencher l'élaboration ou le changement d'une politique.

Cependant, nous ne pouvons appuyer la construction et le traitement du modèle conceptuel recherché sur la seule conception de la théorie des courants multiples, car elle représente des lacunes qui l'éloignent de la conception de système complexe caractérisant l'émergence décisionnelle. De plus, elle n'offre pas de méthode ou de technique de simulation pour traiter notre projet en tant que système complexe. En effet, si nous révisons cette théorie selon la perspective de la théorie de la complexité et les impératifs de notre projet, nous pouvons identifier les lacunes suivantes :

- Indépendance des courants et absence d'interrelations : Kingdon précise qu'au sein du système, les courants sont indépendants les uns des autres et que chaque courant a, dans une large mesure, sa vie propre avec sa dynamique et ses règles propres. Ces courants n'interagissent pas entre eux. Le couplage des courants, lors de l'ouverture d'une fenêtre d'opportunité et avec l'intervention d'entrepreneurs politiques, représente le moment pendant lequel ces courants interagissent.
- Liens de cause à effet : la démarche préconisée par la théorie des courants multiples demeure linéaire et déterministe. Elle laisse croire que les mêmes conditions mènent aux mêmes résultats et que des circonstances similaires avec des propriétés similaires génèrent le même couplage des courants, voire les mêmes décisions et politiques. Cette démarche de cause à effet ne prend pas en considération la dynamique au sein du système, par définition complexe, et qui n'est pas explicitement contextualisée dans la théorie des courants multiples.

On peut aussi déduire de l'approche kingdonienne que l'agenda est tributaire d'un couplage des courants qui dépend à son tour de l'ouverture d'une fenêtre d'opportunité, ajoutant à la démarche un lien séquentiel de cause à effet qui néglige d'autres dynamiques que celle de l'ouverture de fenêtres.

- Ordre et déterminisme : les scénarios prévus par la théorie des courants multiples correspondent à une démarche ordonnée et incrémentale dans laquelle le résultat global représente une addition des parties. C'est-à-dire que lorsqu'il y a couplage de courants, il y a d'abord un problème qui a été identifié et reconnu en tant que tel. Ensuite, il y a une proposition de solution ou de politique susceptible d'être une réponse justifiable au problème soulevé; et enfin, la situation politique ainsi que le soutien public sont favorables à la solution préconisée.

Cette conception confère à la théorie des courants multiples des propriétés déterministes et linéaires fondées sur un processus séquentiel ordonné.

- Raisonnement systémique et réductionniste : la théorie des courants multiples raisonne au niveau systémique pour analyser le processus décisionnel. On retrouve, dans cette approche, de multiples variables et acteurs en jeu ainsi qu'un certain caractère incrémental dans le processus décisionnel, mais ces éléments ne constituent pas la matrice conceptuelle de l'approche kingdonienne, basée sur les courants et leur couplage. Zahariadis (2007) affirme que « *M[ultiple] S[treams]* theorizes at the systemic level, and it incorporates an entire system or a separate decision as the unit of analysis » (cité dans Sabatier, 2007, p. 66). De plus, Zahariadis (2003) ajoute « [...] multiple streams attempts to uncover rationality, theorizing from the macro to the micro. » (p. 5, 6).
- Contrôle systémique du processus : concernant la fenêtre d'opportunité qui constitue, selon Kingdon (2014), le véritable déclencheur de la mise à l'agenda et du processus d'élaboration de politiques, elle est une occasion « for advocates of proposals to push their pet solutions, or to push attention to their special problems » (p. 165). L'auteur précise que, le plus souvent, les divers intervenants se tiennent prêts avec des propositions en attente de problèmes ou des problèmes en attente d'une volonté politique ou de solutions, et qu'ils guettent le moment critique d'ouverture d'une fenêtre d'opportunité.

Kingdon ajoute aussi que le contrôle de l'agenda politique par les divers intervenants est donc la principale voie pour contrôler le processus politique. Ce constat laisse croire que ce ne sont pas tant les facteurs qui interagissent dans le processus que des participants et des entrepreneurs qui mènent, seuls, le jeu politique, comme s'ils avaient un contrôle du système et de l'environnement décisionnel.

En conclusion, la théorie des courants multiples a longtemps marqué la manière classique d'analyse de politiques qui procède selon une démarche systémique globale à partir de la décision d'élaborer ou de changer une politique publique. C'est-à-dire une démarche dans le but de reconstituer *post facto*, de haut en bas, à travers des approximations linéaires, les événements du processus politique et d'identifier les variables du processus décisionnel.

Autrement dit, l'observation des circonstances de couplage des courants et d'ouverture de fenêtres qui ont mené à l'élaboration de la politique analysée et la détermination des variables susceptibles d'avoir contribué au couplage des courants.

Les lacunes soulevées ne confèrent pas à la théorie des courants multiples les caractéristiques d'une approche suffisamment aboutie pour appréhender les systèmes complexes. Cette théorie ne peut constituer, telle qu'elle est, une méthodologie adéquate et consistante pour appréhender le processus d'émergence décisionnelle. Rappelons que, dans un tel système, c'est la dynamique non linéaire entre entités au niveau micro qui génère le comportement global du système au niveau macro. Cette conception fondamentale de la complexité ne se retrouve pas dans la théorie des courants multiples. L'approche kingdonienne est une démarche descendante (*Top Down*) et positiviste, qui examine la décision comme unité d'analyse au niveau systémique.

Même si cette théorie évoque des facteurs qui caractérisent chaque courant à un niveau de détails plus élémentaire, elle ne traite pas de la dynamique entre ces facteurs ni de leur impact réel sur chacun des courants et sur le processus décisionnel en général.

Faut-il pour autant rejeter cette approche comme outil d'articulation de la théorie des systèmes complexes et de l'environnement décisionnel en politiques publiques ?

La réponse est négative, d'autant plus qu'un des outils de la complexité, en l'occurrence le diagramme de Stacey articulé aux préceptes des politiques publiques, présente l'*agenda building* et le *Garbage Can Model* qui ont façonné la théorie kingdonienne, comme des concepts qui font partie de la zone décisionnelle en situation complexe (Geyer et Rihani, 2010).

Cette zone décisionnelle correspond à un environnement complexe et, comme dans tout système qualifié de complexe, nous l'avons vu, ce sont la dynamique et les interactions entre entités au niveau micro qui sont à l'origine du comportement global du système.

Ces notions fondamentales issues de la théorie des systèmes complexes, conjuguées aux concepts fournis par le diagramme de Stacey, nous autorisent à retenir les facteurs qui

caractérisent les courants de Kingdon en tant qu'entités de niveau micro de notre modèle conceptuel représentatif de l'émergence décisionnelle.

Nous considérons que ces facteurs constituent une matrice de base du processus décisionnel dont les composantes principales (ou variables) sont les courants issus de la théorie kingdonienne.

Nous pouvons affirmer aussi que l'atteinte de l'agenda politique est un résultat et une conséquence de plusieurs processus décisionnels. Parmi ces processus, on retrouve l'émergence décisionnelle qui prend naissance au niveau micro du processus décisionnel qui, lui, est animé par les trois courants définis par Kingdon et que nous pouvons retenir en tant que variables ou sous-systèmes de notre modèle.

La figure 3.1 représente le modèle conceptuel de l'émergence décisionnelle.

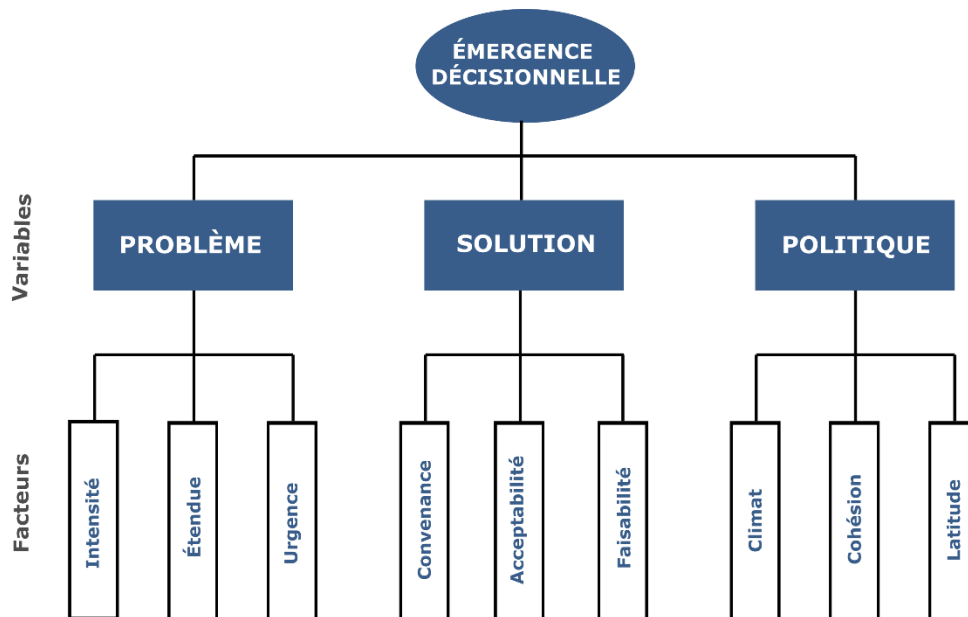


Figure 3.1 Modèle conceptuel de l'émergence décisionnelle

Pour continuer avec la théorie des courants multiples, il faut préciser que la nature de l'émergence décisionnelle ne correspond pas à la vision du couplage tel que défini par Kingdon. Ce couplage est une addition de phénomènes propres aux courants indépendants,

tel qu'il a été démontré, et il est tributaire de l'ouverture d'une fenêtre d'opportunité et de l'action d'entrepreneurs politiques.

Notre modèle ne doit donc pas s'appuyer sur le concept déterministe de couplage, mais plutôt sur des heuristiques décisionnelles cohérentes avec le phénomène de l'émergence décisionnelle. Cette émergence s'appuie en effet sur les facteurs des courants en tant qu'entités constituantes de l'environnement micro du processus décisionnel, mais elle n'obéit pas à la même logique façonnée par la théorie des courants multiples. Il faut donc procéder à une adaptation de ces notions et à une transition méthodologique pour répondre à notre question de recherche.

3.3. Une transition méthodologique et paradigmatique

Les chapitres précédents nous ont permis de définir la nature complexe de l'émergence décisionnelle et d'identifier une matrice de base pour caractériser cette complexité, en l'occurrence, les facteurs fondamentaux des trois courants définis par la théorie des courants multiples. Ce constat illustre d'une part la conjugaison de la théorie de la complexité et de la théorie des courants multiples, et d'autre part, une transition de l'analyse décisionnelle du niveau macro centré sur les acteurs à une démarche micro basée sur les facteurs et leur dynamique. Il s'agit d'un passage de l'approche analytique classique descendante ou *post facto*, démarche traditionnelle préconisée pour les analyses de politiques selon la théorie des courants multiples, et l'approche ascendante que nous proposons dans cette thèse et qui correspond à la conception des systèmes complexes.

L'approche analytique est réductionniste dans les sens où elle réduit le système à la somme de ses parties constituantes indépendantes les unes des autres. Elle est aussi linéaire, car l'objectif de l'analyse est de rechercher des liens de cause à effet. Dans cette perspective, la démarche peut aussi être qualifiée de déterministe.

L'approche ascendante et complexe considère que le tout est plus que la somme des parties, et ce, en raison de la dynamique et des interrelations entre les constituants du système qui sont la source de l'évolution du système et de l'émergence de son état global.

Or, si l'identification des entités d'un modèle conceptuel de l'émergence décisionnelle est une condition nécessaire pour la modélisation, elle n'est pas suffisante pour procéder à la simulation de ce modèle puisqu'il faut déterminer aussi bien la méthodologie que la plateforme adéquates à cette fin.

Pour ce faire, la caractérisation des entités du modèle est une étape déterminante qui nous aide à faire le choix adéquat.

Les trois courants et leurs facteurs sont des concepts caractérisés par des descriptions textuelles subjectives, comme nous l'avons soulevé dans ce document. Les notions de problème, de solution et de politique sont des notions imprécises et floues qui ne peuvent être quantifiées (Howlett, 1999). Ces notions traduisent une forme de raisonnement humain approximatif, comme le fait de qualifier un problème de grave ou une solution de bonne, ce qui dénote plutôt une description linguistique incomplète et floue. Ross (2010) n'hésite pas à affirmer d'ailleurs que « The vast majority of information we have on most processes tends to be nonnumeric and nonalgorithmic. Most of the information is fuzzy and linguistic in form » (p. 248).

Les facteurs identifiés, même si certains sont mesurables et quantifiables, demeurent largement incertains, car l'évaluation de leur ampleur et de leur impact est approximative et dépend fortement du raisonnement humain. Par exemple, si l'étendue d'un problème concerne une certaine zone dans un territoire donné, l'évaluation de son ampleur reste tributaire des décideurs ou du praticien. Cette évaluation dépend de la vision subjective et du raisonnement approximatif des personnes, notamment lorsque cette évaluation concerne une situation décisionnelle, par définition ambiguë (March et Olsen, 1985).

Ces caractéristiques sont fréquemment soulevées par Kingdon (2014) qui affirme que la théorie des courants multiples traite de l'ambiguïté inhérente aux décisions et aux politiques. Propos auxquels Zahariadis (2003) ajoute que « Multiple streams is a lens that deal with policymaking under conditions of ambiguity » (p. 3).

Cette ambiguïté est d'ailleurs une des sources de la complexité du processus décisionnel, tel que soutenu par Ross (2010) qui affirme que « complexity in the world generally arises from uncertainty in the form of ambiguity » (p. 245). Cet auteur précise aussi que « To ignore this uncertainty is to ignore the real world, and our understanding of it » (p. 246).

Les propos de Ross sont appuyés par Pollitt (2008) qui affirme que par rapport aux approches conventionnelles, les caractéristiques soulevées plus haut offrent, « an alternative that is more relevant to the real world » (p. 127), ce qui renforce notre choix de procéder au diagnostic de l'émergence décisionnelle en tant que système complexe en nous appuyant sur les notions développées dans ce chapitre.

La seule approche qui peut appréhender des systèmes complexes caractérisés par des conditions d'ambiguïté, d'incertitude, de raisonnement approximatif et d'informations vagues et incomplètes est la théorie de la logique floue.

Cette branche des mathématiques a donné naissance à la théorie des ensembles flous et à la modélisation de systèmes à inférence floue, une technique de l'intelligence artificielle. En effet, Rutkowski (2008) affirme que :

In everyday life, we come across phenomena and notions, the nature of which is ambiguous and imprecise. Using the classical theory of sets and bivalent logic, we are unable to formally describe such phenomena and notions. We are supported by the fuzzy sets theory, which in the last dozen of years has found many interesting applications... Using the fuzzy sets, we can formally define imprecise and ambiguous notions (p. 63).

Quant à Ross (2010), il conclut que :

For very complex systems where few numerical data exist and where only ambiguous or imprecise information may be available, fuzzy reasoning provides a way to understand system behavior by allowing us to interpolate approximately between observed input and output situations (p. 246).

Ross (2010) soutient aussi que « fuzzy systems are very useful in [...] situations involving highly complex systems whose behaviors are not well understood [...] » (p. 8).

Ces propos sont appuyés par Zgurovsky et Zaychenko (2016) qui affirment que :

There is a new trend in the theory of complex decision-making, which is rapidly developing—making decisions under uncertainty. A promising approach for solving many decision-making problems under uncertainty and incomplete information is based on fuzzy sets and systems theory created by Zadeh (*p. 81*).

Le recours à la logique floue s'avère donc un choix naturel pour traiter notre projet. Ce choix illustre une deuxième transition par rapport aux approches décisionnelles classiques amenée par notre projet. Cette transition traduit une rencontre de la modélisation décisionnelle en politiques publiques et des outils de l'intelligence artificielle, à savoir les ensembles flous et les systèmes à inférence floue.

De plus, cette deuxième transition complète l'articulation des approches soulevées dans le traitement de notre projet. Cette articulation allie l'analyse des politiques publiques, la modélisation décisionnelle, les systèmes complexes et des outils provenant de l'intelligence artificielle.

Le chapitre suivant nous amène au cœur de cette dernière approche puisqu'il traite de l'intelligence artificielle et de la logique floue.

4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LOGIQUE FLOUE

As complexity rises, precise statements lose meaning and meaningful statements lose precision.

Albert Einstein

Ce chapitre est une introduction à l'intelligence artificielle et une synthèse concernant les fondements théoriques et mathématiques de la logique floue et des ensembles flous, notamment les notions nécessaires à la compréhension et à l'application de la technique des systèmes à inférence floue, méthodologie de modélisation et de simulation de systèmes complexes choisie dans le cadre de ce projet de recherche.

4.1. L'intelligence artificielle et computationnelle

L'intelligence artificielle¹², terme apparu en 1956, désigne un ensemble de connaissances et de techniques capables de traiter des systèmes complexes et de résoudre des problèmes difficiles ou impossibles à traiter avec des méthodes conventionnelles, tels que des problèmes décisionnels. La recherche touchant la « pensée artificielle » a commencé dès la fin de la Deuxième Guerre mondiale, sur la base des travaux de Allan Turing et sa théorie de la computation. En 1956, Allen Newell et Herbert Simon ont développé un programme raisonnant appelé *Logic Theorist* qu'ils ont appliqué pour résoudre des théorèmes mathématiques à l'aide d'arbres de recherche dotés d'heuristiques. D'autres développements ont suivi cette initiative et ont tiré profit de l'évolution algorithmique et informatique qui a eu lieu par la suite.

Pour sa part, Wagner-Rémy (2016) suggère que lorsqu'on est devant une catégorie de problèmes dans un certain domaine de compétences et que nous ne connaissons pas a priori la manière de le résoudre (traitement, suite d'opérations ou algorithmes), mais savons quelles

¹² Pour une revue du concept de l'intelligence artificielle et de son évolution, voir : Mariusz Flasiński (2016). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer International Publishing Switzerland. Chapitre 1.

sont les lois ou les règles (base de connaissances) qui régissent ce domaine, nous entrons dans le domaine de l'« intelligence ».

L'intelligence artificielle est considérée comme une discipline et un domaine d'études qui touche à de nombreux champs scientifiques qui traitent de problèmes où le raisonnement humain est une composante importante. Larousse définit l'intelligence artificielle comme un ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine. Comme il s'agit d'un champ scientifique, l'intelligence artificielle offre plusieurs techniques et méthodes qui permettent de traiter différents types de problèmes et de systèmes complexes.

Le but de l'intelligence artificielle comme discipline est donc de reproduire, à travers des théories, des techniques et des outils, le raisonnement humain et sa capacité d'évaluer et de traiter des situations complexes et des phénomènes non linéaires.

Dans les années 1990, l'intelligence artificielle a connu un essor grâce au progrès des outils informatiques et à l'augmentation de la puissance des ordinateurs qui ont permis l'utilisation, le développement et la diffusion de plusieurs méthodes de l'intelligence artificielle. Cette diffusion a touché un grand nombre de disciplines, allant de l'ingénierie aux sciences sociales en passant par la médecine, la linguistique et les télécommunications.

L'évolution technologique et méthodologique du champ de l'intelligence artificielle a donné naissance à l'intelligence computationnelle ¹³, domaine scientifique de l'intelligence artificielle lié à l'application informatique des techniques et des méthodes issues de l'intelligence artificielle à travers la modélisation et la simulation.

¹³ Comme plusieurs domaines naissants, l'intelligence computationnelle n'a pas de définition officiellement établie. Elle est souvent confondue avec l'intelligence artificielle. Dans ce document, nous utilisons indifféremment les deux termes.

4.2. La logique floue

La logique floue¹⁴ (*Fuzzy logic*) est une discipline mathématique et un champ de recherche classé parmi les méthodes de l'intelligence artificielle. Elle a pour objectifs la formulation, la compréhension et la mise en œuvre de mécanismes de raisonnement approximatif et de connaissances imprécises ou incertaines définies par des expressions textuelles ou variables linguistiques.

Historiquement, le concept de logique floue a été formalisé en 1965 par Lotfi Zadeh dans ses recherches concernant la théorie des ensembles flous¹⁵, que nous développons plus loin, comme une extension de la logique booléenne ou binaire. La logique floue explore la réalité au-delà du syllogisme et des limites de la logique binaire, qui a constitué le fondement de la science positiviste ou newtonienne. D'ailleurs, Lucci et Kopec (2016) soutiennent que « Fuzzy logic assigns grayness levels to events that were previously declared to be black or white » (p. 240).

Concernant l'imprécision, un des piliers de la logique floue, Bouchon-Meunier (2003) affirme que « Reasonner en présence de connaissances imprécises a été l'une des préoccupations énoncées par L. A. Zadeh, qui souhaitait approcher le raisonnement humain » (p. 121). Elle ajoute que « Par raisonnement, nous entendons le processus général qui consiste à utiliser des connaissances sur un système, pour en bâtir d'autres relatives à ce même système » (p. 121). L'auteure soutient aussi que le raisonnement approximatif est le « mécanisme capable d'utiliser et de prendre en compte des connaissances imprécises, floues ou incertaines afin de produire de nouvelles connaissances, tel que le raisonnement humain est capable de le faire » (p. 29).

La logique floue est un formalisme très important dans le champ de l'intelligence artificielle (Flasiński, 2016). Cette théorie allie le raisonnement proche de la pensée humaine,

¹⁴ Pour une revue historique et mathématique de la logique floue, voir : R. Bělohlávek, J. W. Dauben, & G. J. Klir (2017). *Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective*. New York, Oxford University Press.

¹⁵ Voir : L. A. Zadeh (1965). Fuzzy sets. Dans *Information and Control*, No. 8, p. 338-353.

l'heuristique et la puissance informatique pour traiter des systèmes complexes pour lesquels il n'y a pas de méthodes conventionnelles de résolution. Selon Russle et Norvig (2010), la logique floue constitue une réponse à la difficulté de déterminer des variables d'entrée appropriées de systèmes qualifiés d'intelligents (p. 557).

Ces clarifications soutiennent le choix de la logique floue comme méthodologie pour appréhender le processus d'émergence décisionnelle, qualifié de système complexe caractérisé par l'incertitude, les données vagues et incomplètes ainsi que par le raisonnement subjectif et approximatif.

Pour conclure cette section, précisons que le rôle de logique floue dans la résolution de systèmes complexes est non seulement d'établir le lien complexe entre des variables d'entrée et de sortie (Matlab, 2017a), mais aussi de découvrir les mécanismes internes de la « boîte noire » décisionnelle à travers des descriptions textuelles et des heuristiques. Cet aspect ajoute une dimension qui n'est pas explorée par des approches décisionnelles conventionnelles basées sur des liens de cause à effet entre les entrées d'un système et les sorties à travers des règles linéaires et déterministes en ignorant les mécanismes internes de cette « boîte noire » décisionnelle.

4.3. Les ensembles flous

En concevant les descriptions textuelles nuancées de variables, la logique floue a introduit la notion d'ensemble flou, par opposition aux ensembles classiques. Un ensemble flou comprend des éléments qui appartiennent à des intervalles partiels de cet ensemble. Ces intervalles traduisent les divers degrés d'appartenance des éléments à l'ensemble en question.

La notion d'ensemble flou désigne une classe d'éléments dont les limites ne sont pas déterminées avec précision mais avec des intervalles nuancés de cette classe. Ces classes d'éléments sont considérés comme des sous-ensembles flous, bien qu'on parle souvent d'ensemble flou et non de sous-ensemble flou, tel que précisé par Bouchon-Meunier (2007). Cette auteure affirme que la notion de sous-ensemble flou « a pour but de permettre des gradations dans l'appartenance d'un élément à une classe, c'est-à-dire d'autoriser un élément

à appartenir plus ou moins fortement à cette classe » (p. 7). Cette appartenance nuancée se traduit par plusieurs degrés de vérité ou de vraisemblance qui illustrent une forme de représentation floue de la connaissance (Zadeh, 1989). Cette représentation floue à l'aide de termes, caractérisée par des descriptions vagues ou imprécises, est plus proche du raisonnement humain et a pour but d'éviter l'utilisation arbitraire de limites artificiellement rigides des descriptions ordinaires et d'introduire une grande souplesse dans les caractérisations (Bouchon-Meunier, 2007).

Afin d'illustrer cette notion de sous-ensembles flous, prenons, à titre d'exemple, la représentation d'une température entre deux bornes (-12°C , $+32^{\circ}\text{C}$) dans un environnement donné. En utilisant des descriptions textuelles, cette température peut être considérée comme très froide ou très chaude selon certains critères. L'ensemble des valeurs intermédiaires entre les bornes peut appartenir à divers intervalles, décrit par des variables dites linguistiques dans cet ensemble de valeurs, appelé univers de discours en théorie des ensembles flous.

La figure 4.1 montre cette notion d'appartenance nuancée d'une plage de température et illustre comment des valeurs mesurées se traduisent en expressions pour décrire une situation qualifiée de floue. Le mode de raisonnement dans cet exemple va au-delà d'une simple représentation binaire froid-chaud. Il s'agit d'une sorte de vérité partielle ou de degré de vraisemblance de chaque expression représentative ou variable linguistique.

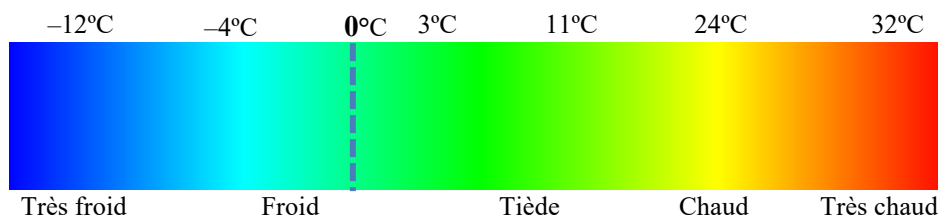


Figure 4.1 Exemple d'un ensemble flou

Cet exemple met aussi en évidence la nature incomplète et peu structurée des variables numériques, que la notion d'ensemble flou transforme en descriptions textuelles, sous forme de variables linguistiques, ou variables floues. Ces variables représentent les intervalles partiels ou référentiels de l'ensemble du domaine des éléments ou de l'univers du discours.

Cette représentation floue illustre le mode de raisonnement symbolique et la manière de codifier certains types d'informations marqués par l'imprécision, par l'incertitude et par l'ambiguïté. Contrairement à la logique binaire où une affirmation a une valeur vraie ou fausse, c'est-à-dire 1 ou 0, la logique floue permet d'attribuer à une variable n'importe quelle valeur dans l'intervalle $[0, 1]$ pour caractériser l'appartenance partielle de la variable à cet intervalle ou ensemble de valeurs, et permettre une représentation plus réaliste et plus détaillée de la gradualité.

Pour continuer avec l'exemple de la température, il est généralement admis que l'eau se transforme de l'état liquide à l'état solide (glace) lorsque sa température (T) est égale ou inférieure à 0°C . Cette affirmation obéit à une logique binaire où la valeur de transition est bien tranchée (courbe 1 sur la figure 4.2). Or, dans la réalité, ce n'est pas toujours le cas puisque d'autres facteurs peuvent entrer en jeu dans ce processus de transformation de l'eau, tels que la pression du milieu ou la durée d'exposition, par exemple. Dans ce cas, l'eau ne se transforme pas nécessairement en glace à 0°C , mais probablement entre -3°C et $+2^{\circ}\text{C}$. Dans cet intervalle, l'eau pourrait être dans un état à la fois liquide et solide, mais à des degrés divers; c'est une situation floue représentée par la courbe 2 de la figure 4.2.

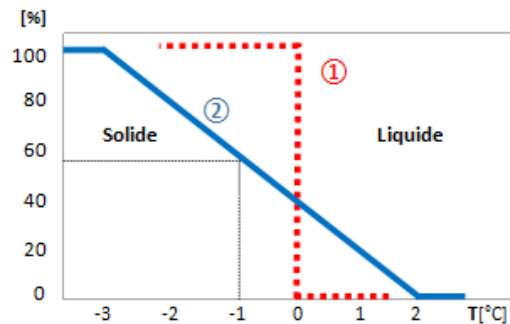


Figure 4.2 Illustration de la distinction entre une variable binaire et une variable floue

La courbe 2 représente la situation floue et graduelle entre les deux états de l'eau et montre que le passage de l'état liquide à l'état solide et vice versa n'est pas fixé à 0°C , mais qu'il est plutôt graduel et nuancé. Par exemple, à une température de -1°C , l'eau n'est pas complètement solide ni totalement liquide. À titre d'illustration, environ 55 % de cette eau

appartient à l'état solide et le reste (45 %) appartient à l'état liquide. Ces pourcentages représentent les degrés de vraisemblance de chaque état, appelés en logique floue les fonctions d'appartenance, notion que nous développons en détail plus loin.

4.4. La logique floue comme outil décisionnel

Concernant l'intérêt que représentent les techniques de l'intelligence artificielle (*Artificial intelligence* ou AI) pour les problèmes décisionnels, Flasiński (2016) affirme que « Supporting a process of *decision making* was one of the first applications of AI systems » (p. 227). La raison principale est que les processus décisionnels sont teintés par l'incertitude et cette incertitude introduit de l'imprécision et de l'ambiguïté dans le processus décisionnel. Sivanandam, Sumathi et Deepa (2007) soutiennent que « Decision is made under risk. When the only available knowledge concerning the outcomes consists of their conditional probability distributions. The uncertainty existing is the prime domain for fuzzy decision (FD) making » (p. 151). Ce constat met l'accent sur la capacité de la logique floue à appréhender l'incertitude liée à la prise de décision.

C'est cette incertitude qui influence le raisonnement humain dans le traitement des informations disponibles et dans la prise de décision qui fait de la logique floue un outil approprié pour appréhender les processus décisionnels. En effet, la logique floue traite cet aspect par l'introduction d'une certaine flexibilité dans l'évaluation qualitative des variables d'un système et dans la vérification des conditions qui le régissent. Ceci permet de rendre compte d'un certain degré de vraisemblance, plus proche de la réalité, moins fondé sur des certitudes et qui correspond à la nature des processus décisionnels. Cette flexibilité a fait de la logique floue un outil puissant de plus en plus utilisé pour résoudre des problèmes décisionnels.

Dans son application, la logique floue requiert l'élaboration, par un expert, de connaissances explicites sous forme de règles décisionnelles partielles qui concernent les divers scénarios (Flasiński, 2016, p. 227). C'est donc la conjugaison de l'expertise humaine et de la puissance algorithmique qui rend aussi la logique floue un outil décisionnel adéquat.

Par ailleurs, Shanmuganathan (2016) affirme que « Fuzzy systems are used to handle inexact data and knowledge in expert systems [...] They are powerful in using inexact, subjective, ambiguous, data and vague knowledge elements » (p. 12). De plus, ajoute cet auteur, « Fuzzy systems can represent symbolic knowledge and also use numerical representation similar to the subsymbolic systems » (p. 12). Il reprend les travaux de Kasabov¹⁶ qui soutient que la technique des systèmes flous (*Fuzzy Systems*), issue de la théorie de la logique floue, est recommandée, notamment lorsque les données sont incomplètes et de faible qualité; et lorsque les connaissances théoriques reliées au problème traité ne sont pas très développées.

Il représente cette constatation dans la figure suivante :

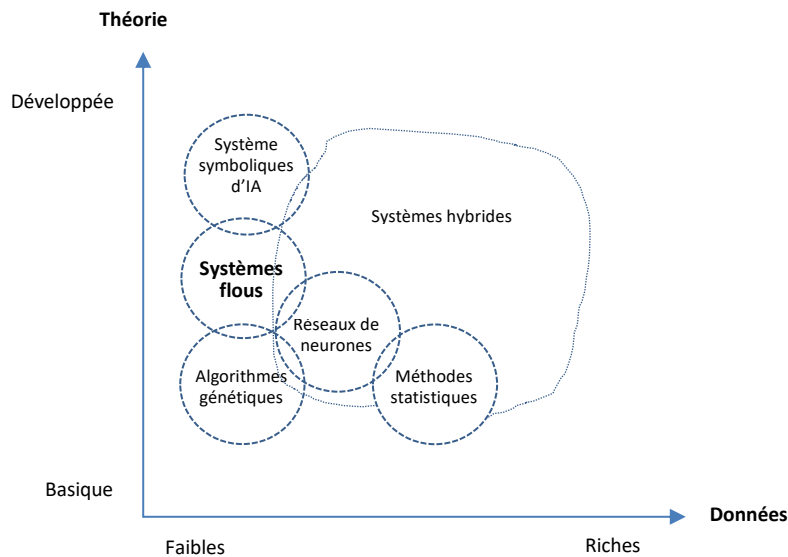


Figure 4.3 Méthodes de résolution en fonction des données disponibles et de l'avancement théorique (d'après Shanmuganathan, 2016, p. 12)

¹⁶ N. K. Kasabov (1995). *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. A Bradford Book. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.

Cette mise au point, qui touche de près notre projet, est soutenue par Flasiński (2016) qui affirme que « If a decision problem is described with fuzzy notions, then *fuzzy rule-based systems*, [...] or hybrid systems based on fuzzy set theory [...], can be used » (p. 227).

D'ailleurs, nous avons démontré que la théorie en analyse de politiques publiques n'est pas suffisamment développée pour traiter l'émergence décisionnelle en tant que système complexe. De plus, nous avons aussi démontré que les informations ou les données reliées à l'ensemble des entités de notre modèle, même mesurables, sont teintées d'imprécision et ne pourront convenir à une opérationnalisation conventionnelle. Nous pouvons donc orienter nos efforts vers le développement de systèmes flous (ou systèmes à inférence floue) pour traiter notre question.

4.5. Les systèmes à inférence floue : principes et modélisation

Cette section est dédiée à la présentation des systèmes à inférence floue¹⁷ (*Fuzzy Inference System* ou FIS) et de leurs caractéristiques. Nous aborderons aussi le type de système à inférence flou choisi pour traiter notre modèle, la démarche de modélisation et de simulation des systèmes à inférence floue ainsi que les outils informatiques nécessaires à la simulation. Soulignons toutefois que les systèmes à inférence floue sont aussi appelés, dans les ouvrages spécialisés, systèmes flous à base de règles, modèles flous ou encore systèmes experts flous.

D'entrée de jeu, Larousse définit l'inférence comme une opération par laquelle on passe d'une assertion considérée comme vraie à une assertion au moyen d'un système de règles qui rend cette deuxième assertion également vraie.

Par ailleurs, l'inférence nécessite un sujet raisonnant (Wagner-Rémy, 2016) et elle permet de transformer des entrées (ou des prédicats) en sorties (ou conclusions) à travers des règles construites à cette fin. En théorie des ensembles flous, ces règles sont appelées les règles d'inférence floue.

¹⁷ Il est admis d'utiliser indifféremment les termes de systèmes ou sous-systèmes à inférence floue.

Du point de vue épistémologique, Wagner-Remy (2016) définit les règles d'inférence dans ces termes :

Les règles qui fondent le processus de déduction, de dérivation ou de démonstration. L'application des règles sur les axiomes du système permet d'en démontrer les théorèmes. Ses arguments sont appelés les « prémisses » et sa valeur la « conclusion ». Les règles d'inférences peuvent également être vues comme des relations orientées liant prémisses et conclusions, par lesquelles une conclusion est dite « dérivable » des prémisses (p. 118).

Les règles d'inférence dans un système flou représentent le mode de raisonnement en logique floue et symbolisent les relations qui existent entre les variables d'entrée du système, exprimées comme variables linguistiques, et la variable de sortie, exprimée également comme une variable linguistique.

Un système à inférence floue nécessite donc la détermination des variables d'entrée et de sortie ainsi que les règles qui déterminent la relation entre ces variables. Il est défini en tant que « process of formulating the mapping from a given input to an output using fuzzy logic » (The Mathworks, 2017) car la décision est au cœur de tout système flou. Sivanandam, Sumathi et Deepa (2007) affirment que « The decision-making is an important part in the entire system. The FIS formulates suitable rules and based upon the rules the decision is made. » (p. 118).

4.5.1. Structure et modélisation de systèmes à inférence floue

En tant que concept, un système à inférence floue est un système qui convertit des entrées fuzzifiées¹⁸ (grandeurs numériques rendues floues) en sortie défuzzifiée (variable floue convertie en grandeur numérique) à travers un algorithme basé sur des règles d'inférence.

La structure d'un tel système peut être représentée par la figure 4.4.

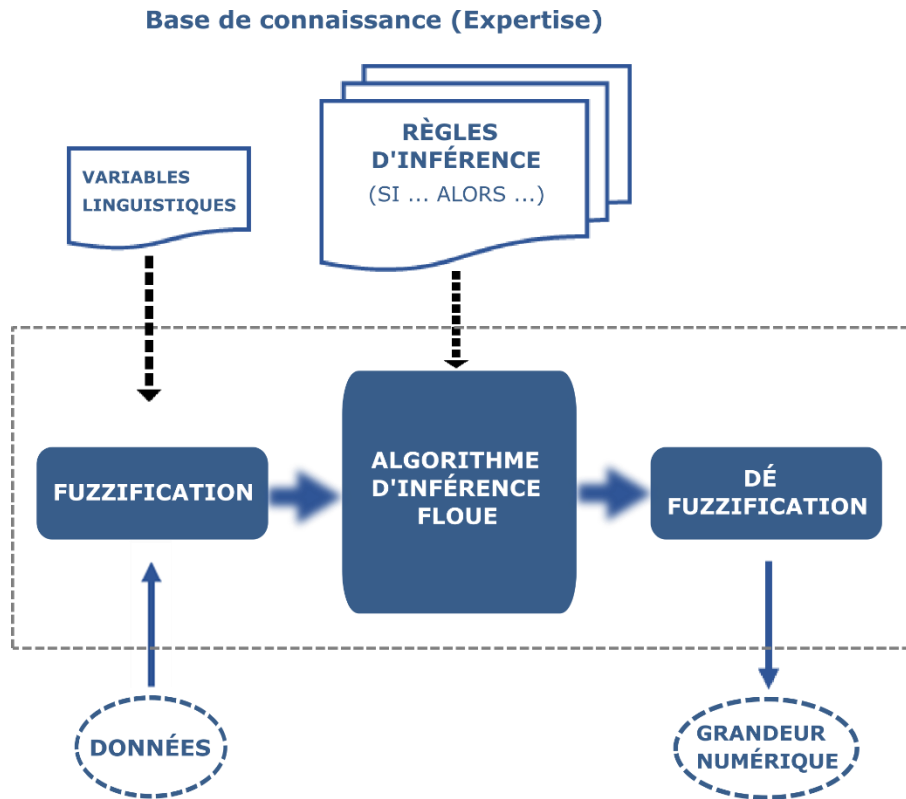


Figure 4.4. Structure d'un système à inférence floue

Cette figure montre les éléments qui constituent un système à inférence floue et qui représentent aussi les étapes de modélisation et de simulation d'un FIS. Dans cette structure,

¹⁸ Les termes fuzzifié, défuzzifié, fuzzification et défuzzification sont des néologismes adoptés dans les ouvrages spécialisés de logique floue. Ils n'ont pas encore d'équivalent communément accepté en langue française.

l'unité décisionnelle est l'algorithme d'inférence floue qui évalue et applique les règles propres au système lors de la simulation.

Par rapport à un système classique conventionnel qui comprend une « boîte noire » indéchiffrable entre les entrées et les sorties, les FIS démystifient cette « boîte noire » décisionnelle à travers l'algorithme d'inférence et l'application des heuristiques décisionnelles.

En ce sens, ces systèmes sont plus adéquats pour diagnostiquer le processus d'émergence décisionnelle, lequel, autrement, demeure inintelligible. Cette capacité des FIS à expliquer ce qui se passe à l'intérieur de la « boîte noire » du processus décisionnel leur confère une puissance explicative qui n'est pas offerte par les approches classiques.

Les étapes de modélisation et de simulation d'un FIS effectuent le lien entre les entrées et la sortie du système et mettent en lumière les mécanismes et le mode opératoire de ce lien.

La première étape, appelée fuzzification, consiste à transformer les données numériques en variables floues et à leur attribuer des fonctions d'appartenance selon l'expertise du concepteur. Ces fonctions d'appartenance sont représentées par des variables linguistiques.

La deuxième étape réside dans l'opération d'inférence assurée par le « moteur » à inférence floue, qui est l'algorithme ou l'unité décisionnelle du système, à l'aide des règles d'inférence floue construites à cet effet à partir d'une base de connaissances de l'expert ou de données empiriques.

L'agrégation des règles d'inférence permet à l'algorithme de produire une sortie floue. Enfin, la troisième étape, celle de défuzzification, consiste à transformer la valeur floue de sortie en une grandeur numérique à travers l'application de méthodes de défuzzification.

La mise en œuvre de ces étapes dépend de la nature des sous-ensembles flous, des variables d'entrées et de la variable de sortie. Cette dernière peut être une variable floue que l'on transforme en valeur numérique, une constante ou une expression mathématique linéaire. Le choix de la méthode d'inférence floue, appelée aussi algorithme ou modèle ou moteur d'inférence, dépend aussi de la nature de la variable de sortie recherchée.

4.5.2. Les algorithmes d'inférence floue

En évoquant l'intelligence artificielle (IA) et les systèmes à inférence, Wagner-Rémy (2016) affirme que « le cœur d'un programme d'IA est une sorte de programme informatique appelé « moteur d'inférence », qui consiste à articuler les propositions entre elles » (p. 19).

Cette auteure ajoute :

Un tel programme simule une forme d'intelligence, dans la mesure où il n'exécute pas une séquence d'opérations définie a priori par le programmeur, mais grâce à son « moteur d'inférence », qui se charge d'enchaîner les règles de la base de connaissances à partir d'une situation donnée en entrée (base de faits), il parvient à une situation finale en sortie, en réponse à la situation initiale (p. 19).

Cette opération, appelée *mapping*, qui décrit la relation entre les variables d'entrée et de sortie est à la base du développement des modèles ou algorithmes d'inférence floue. Cette opération consiste à élaborer l'algorithme adéquat qui simule les variables et les règles en vue de produire un résultat. Le moteur à inférence floue est considéré comme le cœur de tout FIS, car il a la capacité de simuler la démarche décisionnelle « humaine », habituellement basée sur des concepts flous et un raisonnement approximatif.

La théorie de la logique floue comprend plusieurs algorithmes d'inférence floue, appelés aussi méthodes ou mécanismes d'inférence floue, ou encore types ou modèles d'inférence floue. Les plus populaires sont le modèle de Mamdani (appelé parfois modèle Assilian-Mamdani) et le modèle de Sugeno¹⁹, désigné comme le modèle de Takagi Sugeno (TS).

La différence entre ces deux modèles réside dans le résultat fourni comme variable de sortie (*output*) du système. Le modèle de Mamdani produit une variable de sortie de type flou ayant une fonction d'appartenance floue, alors que le modèle dit de Sugeno produit comme variable de sortie une constante ou une expression mathématique linéaire.

¹⁹ Pour une revue des algorithmes d'inférence floue, voir : M. Z. Zgurovsky & Y. P. Zaychenko (2016). *The Fundamentals of Computational Intelligence: System Approach*. Springer International Publishing Switzerland, p. 81-88.

Le modèle de Mamdani est recommandé pour traiter les systèmes complexes et non linéaires, et particulièrement les problèmes décisionnels multicritères (The Mathworks, 2017), car il a l'avantage d'inclure la base de la connaissance et l'intuition humaines, à travers les règles d'inférence floue et le raisonnement approximatif.

4.6. La modélisation de type Mamdani

Étant donné que notre projet ne comprend pas de données qui représentent des constantes, ni d'expression mathématique linéaire, nous choisissons la modélisation de type Mamdani pour la suite du document.

À l'origine, ce modèle a été proposé par Assilian et Mamdani²⁰ comme une méthode de contrôle de systèmes basée sur deux éléments distincts :

- Les travaux théoriques de Zadeh concernant les algorithmes flous pour les systèmes complexes et les processus décisionnels²¹.
- Des règles floues issues de la pratique industrielle.

Selon Sivanandam, Sumathi et Deepa (2007), le modèle de Mamdani est la méthode d'inférence floue la plus populaire, car « All the existing results on fuzzy systems as universal approximators deal with Mamdani fuzzy systems only and no result is available for TS fuzzy systems with linear rule consequent » (p. 119).

Dans les sections qui suivent, nous décrivons les étapes de modélisation de type Mamdani.

4.6.1. La fuzzification des variables d'entrée

La modélisation d'un FIS commence par une étape de fuzzification (voir figure 4.4). Il s'agit de la transformation de données numériques à l'entrée du système à inférence floue en

²⁰ Voir : E.H. Mamdani, et S. Assilian. (1975). « An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller », *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, p. 1-13.

²¹ Voir : L. A. Zadeh, (1973). « Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 3, No. 1, p. 28-44, Jan. 1973.

variables floues selon des intervalles partiels de valeurs décrits par des variables linguistiques. C'est ce qu'on appelle la détermination de l'univers du discours en logique floue qui traduit la partition de l'ensemble des valeurs en plusieurs classes floues. Cette fuzzification est effectuée par le concepteur.

Concrètement, il s'agit de définir la plage de toutes les valeurs qu'une donnée numérique peut prendre et de découper cette plage en classes désignées par des variables linguistiques (ou variables floues), par exemple petit, moyen, grand. Ces variables linguistiques représentent des sous-ensembles dans un intervalle allant de 0 % à un maximum de 100 % ou encore $[0, 1]$.

Afin d'illustrer cette technique, prenons pour exemple le cas d'une administration publique qui désire analyser un taux d'accès à des services en ligne (TAS) afin de diagnostiquer les mécanismes qui expliquent les tendances de cet accès et analyser l'effet de certains facteurs sur ce taux d'accès.

Pour ce faire, choisissons pour ce TAS, un univers de discours entre 0 % et 60 % partitionné en trois classes floues qui représentent trois sous-ensembles caractérisés par les variables linguistiques faible, moyen, élevé, tel que représenté dans le tableau 4.1 :

Tableau 4.1 Exemple d'intervalles d'appartenance et de variables floues

TAS [%]	Variable floue
0 – 20	Faible
21 – 40	Moyen
41 – 60	Élevé

Pour les besoins de cet exemple, considérons aussi que ce TAS dépend de deux variables principales : la qualité de service (QS) et le taux de confiance des usagers (TC); et que ces deux variables sont définies, chacune, par trois sous-ensembles flous décrits par les mêmes variables linguistiques faible, moyen, fort dans un univers de discours $[0, 60]$ à l'instar du TAS.

En conséquence, nous disposons d'un système à inférence floue déterminé par deux variables d'entrée (QS et TC) et une variable de sortie (TAS), ayant chacune trois sous-ensembles flous caractérisés par les variables linguistiques déterminées plus haut.

Les grandeurs numériques de ces variables d'entrée et de sortie appartiennent à des degrés divers aux sous-ensembles flous définis par les variables linguistiques (faible, moyen, fort). C'est ce qu'on appelle les fonctions d'appartenance que nous décrivons dans la section suivante.

4.6.2. Les fonctions d'appartenance et les opérateurs logiques

Les fonctions d'appartenance (*membership functions*) sont des *building blocks* (Matlab, 2017) des ensembles flous, et elles constituent un des éléments fondamentaux de tout système à inférence floue, car tout ensemble flou est défini par des fonctions d'appartenance.

Ces fonctions sont représentées par des courbes qui traduisent le domaine de variation des sous-ensembles flous ainsi que le degré d'appartenance de chaque valeur d'entrée ou de sortie aux sous-ensembles du système.

Ces fonctions d'appartenance doivent être définies pour chaque variable d'entrée et de sortie du système d'inférence dans un intervalle allant de 0 à 1. Elles traduisent le degré d'appartenance de la grandeur d'une variable à la fonction préalablement définie. C'est-à-dire le degré de vraisemblance de l'appartenance d'une grandeur numérique de la variable à un sous-système flou représenté par une variable linguistique. Ce degré de vraisemblance illustre le caractère imprécis des systèmes flous et l'incertitude due au raisonnement approximatif.

Il y a plusieurs types de fonctions d'appartenance : des fonctions triangulaires, trapézoïdales, gaussiennes, sigmoïdes, etc.²². Ces fonctions sont caractérisées par la forme de leurs courbes

²² Pour une revue des fonctions d'appartenance des systèmes à inférence floue, voir par exemple : The MathWorks (2017). *Fuzzy Logic Toolbox™ User's guide*, p. 2-6 à 2-11.

et par leurs formules de calcul. Le choix de ces fonctions dépend du modèle et du domaine d'application.

En termes mathématiques, considérons X un ensemble de variables d'un système à inférence floue A et un sous-ensemble flou de X . Le sous-ensemble A est caractérisé par la fonction d'appartenance μ_A ayant des valeurs réelles entre 0 et 1 :

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$$

La valeur de la fonction $\mu_A(x)$ exprime le degré d'appartenance de la variable $x \in X$ au sous-ensemble flou A .

Une fonction d'appartenance de type triangulaire, par exemple, est déterminée par la formule de calcul et représentée par le graphique suivant :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq i \\ \frac{x-i}{m-i} & i < x \leq m \\ \frac{j-x}{j-m} & m < x < j \\ 0 & x \geq j \end{cases}$$

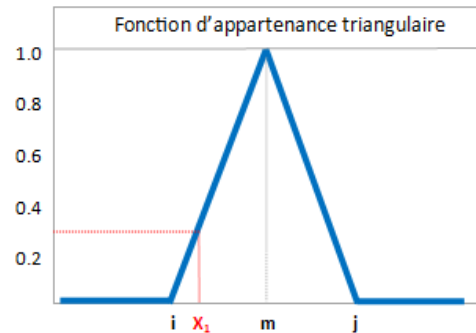


Figure 4.5 Fonction d'appartenance triangulaire

La valeur m sur le graphique est caractérisée par son appartenance maximale (100 %) au sous-ensemble, lui-même caractérisé par la fonction d'appartenance de cet exemple. C'est le noyau du sous-ensemble flou.

Toute valeur inférieure ou égale à i et toute valeur supérieure ou égale à j a une fonction d'appartenance nulle. Toute autre valeur du sous-ensemble, située entre i et j , mais différente de i et de j , à l'exception de m , a une fonction d'appartenance supérieure à zéro et inférieure à 1, fournie par la formule $\mu_A(x)$. Dans cet exemple, la valeur x_1 de la figure 4.5 a une

fonction d'appartenance de 0.3, c'est-à-dire qu'elle appartient à 30 % au sous-ensemble situé à l'intérieur de la courbe triangulaire.

Dans notre exemple du taux d'accès aux services en ligne, nous avons défini chaque variable du système par un univers du discours entre 0 % et 60 % partitionné en trois sous-ensembles flous qui représentent trois fonctions d'appartenance.

Une représentation de type trapézoïdal de ces fonctions d'appartenance peut avoir l'allure suivante :

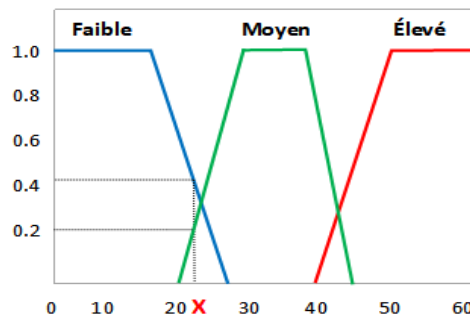


Figure 4.6 Fonction d'appartenance trapézoïdale représentant trois sous-ensembles flous

Dans la figure 4.6, chaque courbe trapézoïdale représente un sous-ensemble flou désigné par une variable linguistique.

Toute grandeur numérique d'une variable d'entrée du système située dans l'univers du discours (0 % à 60 %) possède une fonction d'appartenance à un ou plusieurs sous-ensembles flous, et ce, à des degrés divers.

Par exemple, la valeur x sur la figure 4.6, a une fonction d'appartenance au sous-ensemble faible égale à 0.45 (ou 45 %) et une fonction d'appartenance au sous-ensemble moyen égale à 0.2 (ou de 20 %). En termes de relation mathématique :

$$\mu_{Faible}(x) = 0.45 \quad \text{et} \quad \mu_{Moyen}(x) = 0.2$$

Cette appartenance répartie sur plusieurs sous-ensembles illustre l'imprécision et traduit le raisonnement approximatif concernant la valeur x de la variable en question.

Sur un autre registre, étant donné qu'il existe plusieurs types de fonctions d'appartenance, il y a plusieurs approches pour déterminer le type de fonctions d'appartenance adéquat pour le système étudié.

Le choix du type approprié de fonctions d'appartenance se fait en général par le concepteur sur la base de connaissances, ou en examinant les données empiriques du problème, ou encore par essais et erreurs. Toutefois, ce choix est important pour la performance globale des modèles à inférence floue; et la plupart du temps, une démarche expérimentale de plusieurs types de fonctions est nécessaire pour l'obtention de résultats probants.

4.6.3. Les règles d'inférence floue et les opérateurs logiques

Par rapport au raisonnement binaire en logique classique basé sur la notion de vrai ou faux, les règles d'inférence symbolisent le raisonnement flou. Elles représentent des heuristiques basées sur les variables linguistiques qui traduisent une gradualité du langage naturel tout en utilisant des opérateurs et une syntaxe identiques à celle de la logique binaire.

Ces règles sont des expressions textuelles de type :

SI <condition> **ALORS** <conséquence>.

La partie condition, appelée antécédent de l'expression, représente l'état des variables d'entrée et la partie conséquence, l'état de la variable de sortie du système.

Vues de manière conventionnelle, les règles d'inférence constituent des heuristiques ou des hypothèses de projection de l'impact des variables floues d'entrée sur la variable de sortie du système qui est la conséquence. La variable de sortie dans une modélisation de type Mamdani est une variable floue avec ses propres fonctions d'appartenance, à l'image de notre exemple du TAS.

Étant donné que l'antécédent de l'expression peut être formé d'une combinaison de plusieurs conditions relativement aux variables d'entrée et de plusieurs propositions, l'élaboration des règles d'inférence floue se fait à l'aide des opérateurs classiques de la logique binaire ET, OU, NON pour désigner l'effet conjugué des variables d'entrée (ou sous-ensembles flous du système). Selon la conception de Zadeh (1965), l'opérateur logique ET désigne l'intersection de deux sous-ensembles flous A et B, et exprime la quantité minimale de cette intersection. Pour ce qui est de l'opérateur OU, il désigne l'union de deux sous-ensembles flous A et B et exprime la quantité maximale de cette union.

Enfin, l'opérateur NON représente la négation ou la complémentarité d'un sous-ensemble flou. Les opérations effectuées sur les fonctions d'appartenance μ_A et μ_B avec les opérateurs de Zadeh se font avec les formules suivantes :

Tableau 4.2 Opérateurs de Zadeh avec sous-ensembles flous

Opérateur	Opération	Opérateur flou (Zadeh)
ET	Intersection	$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$
OU	Union	$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$
NON	Complément	$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$

À titre d'exemple, pour deux valeurs d'entrée x et y appartenant respectivement à deux sous-ensembles A et B , tel que $x \in A$ et $y \in B$ et dont les fonctions d'appartenance respectives à chacun des sous-ensembles sont $\mu_A(x) = 0.6$ et $\mu_B(y) = 0.35$, le résultat de l'opérateur flou ET de la partie <condition> est une fonction d'appartenance égale à 0.35 dans la partie <conséquence> (figure 4.7), puisque c'est la quantité minimale des deux. Pour ces mêmes valeurs, l'application de la règle OU fournit un résultat égal à 0.6.

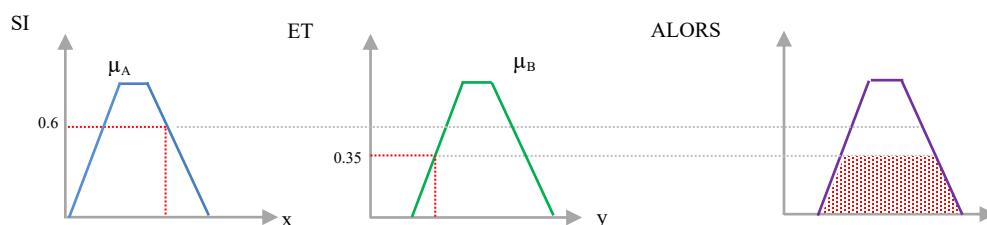


Figure 4.7 Exemple de règle d'inférence

Dans un modèle à inférence floue, la détermination des règles d'inférence est une composante essentielle, étant donné que c'est l'ensemble des règles floues qui détermine la qualité de l'inférence et de la variable de sortie. La variable de sortie représente le résultat recherché à travers l'application ou l'agrégation de ces règles.

Il faut autant de règles que de scénarios vraisemblables, déterminés par l'expertise du concepteur dans le domaine.

En général, il faut construire une matrice de décision qui comprend l'état des variables d'entrée de la partie <condition> et le résultat prévu du scénario de la partie <conséquence> qui constitue la réponse fournie par la règle d'inférence.

Cette matrice est ensuite convertie en un jeu de règles qui couvrent tous les scénarios prévus par le concepteur.

À titre d'illustration, en appliquant ces notions à notre exemple plus haut avec les variables Qualité de service (QS), Taux de confiance (TC) et Taux d'accès aux service (TAS), il est possible de formuler un jeu de règles avec l'opérateur ET, par exemple :

Règle 1 : SI QS est faible ET TC est moyen ALORS TAS est faible.

Règle 2 : SI QS est élevé ET TC est moyen ALORS TAS est moyen.

Règle 3 : SI QS est moyen ET TC est élevé ALORS TAS est élevé.

Règle 4 : SI QS est faible ET TC est élevé ALORS TAS est faible.

Etc.

Le concepteur détermine autant de règles « expertes » que nécessaires selon les scénarios vraisemblables ou envisagés.

4.6.4. La défuzzification

La dernière étape de l'inférence floue de type Mamdani est l'opération de défuzzification.

La défuzzification consiste à transformer la variable floue de sortie, après agrégation des règles d'inférence, en un résultat chiffré, c'est-à-dire en une grandeur numérique, en appliquant une ou plusieurs méthodes de défuzzification.

Cette opération est représentée par la figure 4.8 :

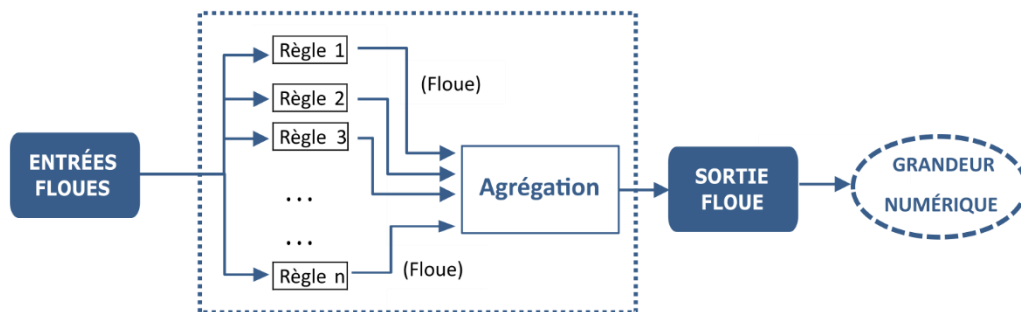


Figure 4.8 Défuzzification de type Mamdani

Pour ce qui est de l'agrégation des règles, il faut préciser que, puisque les décisions sont basées sur le test de toutes les règles du système, « the rules must be combined in some manner in order to make a decision. Aggregation is the process by which the fuzzy sets that represent the outputs of each rule are combined into a single fuzzy set. » (The Mathworks, 2017, p. 2-25).

L'algorithme d'inférence de Mamdani fournit une fonction d'appartenance résultante pour la variable de sortie qui est une information floue devant être convertie en une grandeur numérique. Cette conversion est effectuée selon des méthodes de défuzzification dédiées à cet effet, telles que la méthode du centre de gravité (*Center of gravity* ou COG) et la méthode de la moyenne des maximums (*Mean of maximum* ou MOM), qui sont les méthodes les plus populaires selon la plupart des sources.

4.6.4.1. La méthode du centre de gravité (COG)

Cette méthode consiste à calculer la position (en abscisse) du centre de gravité de la fonction d'appartenance issue de l'agrégation des règles d'inférence. Cette position représente la valeur numérique de la variable de sortie.

Elle est la plus utilisée (Sugeno et Kong, 1988) et est généralement préférable en raison de sa cohérence avec les principes de la logique floue, car elle intègre la notion d'appartenance d'un élément à deux sous-ensembles en même temps.

Par contre, c'est une méthode qui exige des calculs complexes et une plus grande puissance de calcul, notamment lorsque les fonctions d'appartenance ne sont pas linéaires (triangulaires ou trapézoïdales).

4.6.4.2. La méthode de la moyenne des maximums (MOM)

Cette méthode fournit la valeur de sortie en tant que moyenne des abscisses des valeurs maximales de la fonction d'appartenance résultante de l'agrégation des règles d'inférence.

Le tableau 4.3 montre les relations mathématiques pour calculer la grandeur numérique de sortie (S) et la représentation graphique de chaque méthode. Dans ce tableau, on considère (N) l'ensemble des valeurs correspondant aux fonctions d'appartenance issues de l'agrégation des règles d'inférence.

Tableau 4.3 Principales méthodes de défuzzification

Méthode de défuzzification	Description	Formule (Valeur de sortie S)	Représentation graphique
Centre de gravité (COG) ou centroïde	Abscisse correspondant au centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance issue de l'agrégation	$S = \frac{\sum_{i=0}^N X_i \cdot \mu_{xi}}{\sum_{i=0}^N \mu_{xi}}$	
Moyenne des maximums (MOM)	Abscisse correspondant à la moyenne des abscisses ayant les valeurs maximales de fonctions d'appartenance issues de l'agrégation	$S = \frac{\sum x_i}{N}$	

N : Ensemble des valeurs X_i

En reprenant notre exemple concernant le TAS plus haut, si nous choisissons des valeurs hypothétiques en pourcentage pour les deux variables d'entrée (QS = 36 et TC = 44) et, pour la simplicité de l'illustration, un jeu de règles composé des trois premières règles d'inférence mentionnées dans la section 4.6.3, la simulation de ces valeurs avec ce jeu de règles et une défuzzification de type COG fournit un résultat de TAS = 50.6 (voir la figure 4.9).

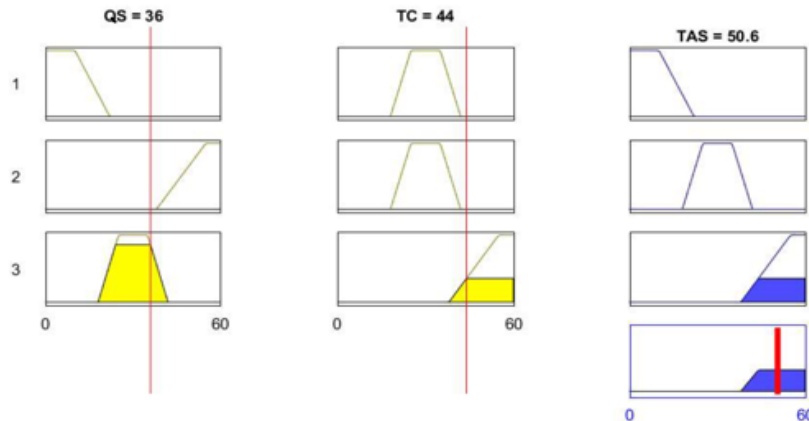


Figure 4.9 Exemple de simulation (itération) et défuzzification (image réalisée avec Matlab)

Ce résultat est évidemment partiel et hypothétique, car l'ensemble des règles n'est pas appliqué dans cette simulation. De plus, pour une étude complète de cet exemple, les sous-systèmes (les variables) du modèle doivent comprendre des facteurs ou des entités qui permettent de déterminer leurs grandeurs.

4.6.5. Les outils de modélisation et de simulation

Dans cette section, nous présentons le dernier point relatif à la construction et à la simulation des systèmes à inférence floue, qui concerne l'outil informatique dédié à ces systèmes. Il s'agit de la plateforme la plus populaire et la plus puissante pour construire des systèmes basés sur la logique floue : Matlab[®]. Dans ce projet, nous avons utilisé la version 2017b.

Cette plateforme offre un module dédié à la modélisation et la simulation des systèmes à inférence floue appelé *Fuzzy Logic Toolbox*[™].

Selon l'éditeur, « The toolbox lets you model complex system behaviors using simple logic rules, and then implement these rules in a fuzzy inference system. » (The Mathworks, 2017, p. 1-2).

Fuzzy Logic Toolbox[™] comprend plusieurs outils complémentaires interreliés dédiés aux étapes de construction et de simulation du modèle à inférence floue. Ces outils sont l'éditeur de fonctions d'appartenance et de règles d'inférence ainsi qu'un outil de représentation graphique de résultats²³.

La figure 4.10 montre les outils du module *Fuzzy Logic Toolbox* dédiés à la conception de systèmes à inférence floue.

²³ Pour une revue exhaustive des outils offerts par Matlab, voir: The Mathworks (2017). *Fuzzy Logic Toolbox*[™]. *User's Guide*.

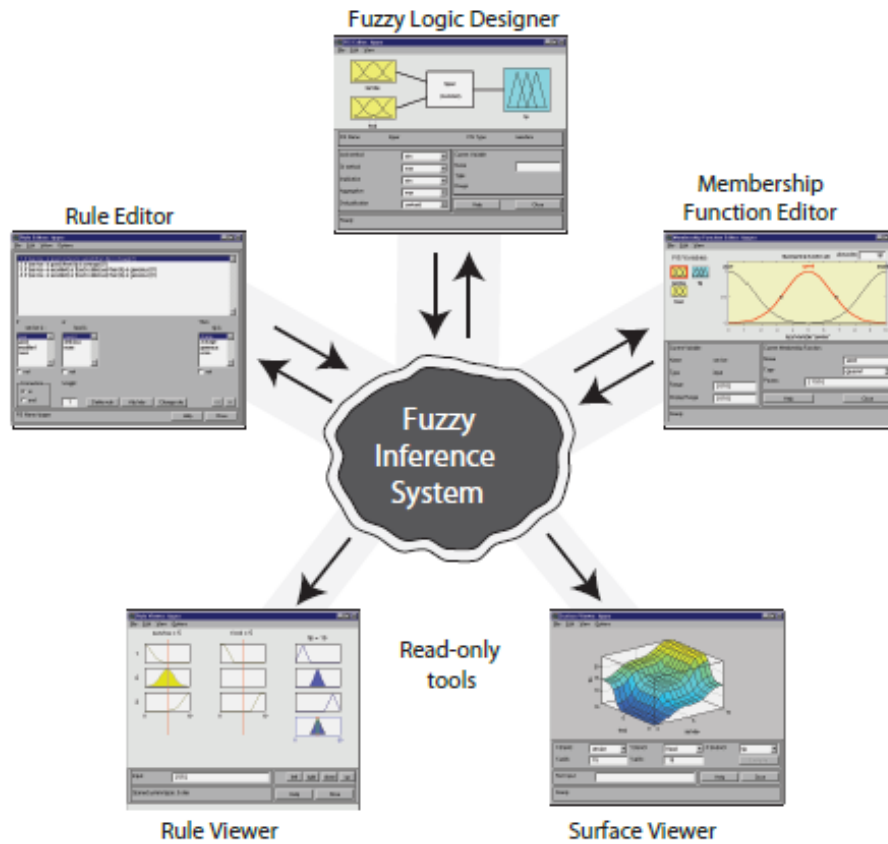


Figure 4.10 Les modules de *Fuzzy Logic Toolbox*
 (source : Fuzzy Logic Toolbox™. User's Guide, 2017, p. 2-32)

Dans le tableau 4.4, nous dressons une liste de ces outils et de leurs fonctions respectives dans le processus de modélisation et de simulation du module *Fuzzy Logic Toolbox*™ de Matlab® :

Tableau 4.4 Les outils du module *Fuzzy Logic Toolbox*™

Outils	Fonctions
<i>Fuzzy Logic designer</i>	Détermination des variables d'entrée et de sortie
<i>Membership Function Editor</i>	Définition des fonctions d'appartenance pour chaque variable
<i>Rule Editor</i>	Détermination des règles d'inférence du système
<i>Rule Viewer</i>	Vision des règles en action selon les valeurs entrées et du résultat
<i>Surface Viewer</i>	Représentation graphique des résultats

4.7. Conclusion

La synthèse des notions développées dans ce chapitre concernant la méthodologie retenue nous autorise à affirmer que la logique floue, en tant que technique de l'intelligence artificielle, permet de modéliser le monde réel et d'effectuer, grâce aux moyens technologiques, des opérations et des simulations qui dépassent la capacité humaine.

Cette méthodologie est en effet en mesure d'accroître la capacité décisionnelle des humains, voire même de s'y substituer partiellement, grâce à des algorithmes évolués. Elle représente, entre autres avantages, celui de prendre en considération le raisonnement approximatif des humains à travers la technique d'inférence floue.

En nous inspirant du manuel de Matlab (2017) et d'autres sources citées dans ce chapitre, nous pouvons dresser une liste non exhaustive des forces de la logique floue dès lors que des outils informatiques dédiés contribuent à la mise en œuvre des techniques issues de cette méthodologie :

- La facilité de compréhension et de mise en œuvre en raison de sa proximité avec le raisonnement humain et sa façon d'appréhender la complexité des phénomènes réels tout en se basant sur le langage naturel. En effet, la logique floue permet une plus grande liberté de représentation d'une variable ou de toute autre entité par des notions simples et sans des contraintes mathématiques strictes ou une mise à l'échelle déterminée à l'avance.
- La flexibilité vis-à-vis des informations imprécises et des données incomplètes, textuelles ou ambiguës.
- La modélisation de systèmes complexes et non linéaires sans le recours à des modèles mathématiques difficiles à élaborer et à résoudre. À travers les techniques d'élaboration de fonctions d'appartenance et de règles d'inférence, la logique floue permet de modéliser et de simuler les interactions entre les variables d'entrée et de sortie. Cette démarche permet d'expliquer l'émergence du comportement global du système modélisé. De plus, la modélisation et la simulation de tels comportements

complexes s'effectuent sans nécessiter de ressources humaines et matérielles importantes.

- La possibilité de tirer avantage des connaissances provenant de l'expertise humaine, tout en utilisant des machines pour les simuler à travers de multiples scénarios et conditions, ce qui pourrait renforcer les approches conventionnelles en analyse de politiques publiques; et représenter une valeur ajoutée à l'analyse et au diagnostic de systèmes et de processus décisionnels.

Mais, malgré la simplicité apparente de certains aspects de la logique floue, cette méthodologie représente un outil puissant de l'intelligence artificielle pour appréhender les systèmes complexes. À ce sujet, Labiod et Beylot (2013) résumant bien les principaux atouts de la logique floue en affirmant que :

[...] la logique floue peut être considérée comme une théorie pour faire face à l'incertitude quant à un système complexe, et en tant que théorie de l'approximation. La logique floue a deux objectifs : d'un côté, développer des méthodes de calcul qui peuvent effectuer un raisonnement et la résolution de problèmes qui nécessitent une intelligence humaine, et d'un autre côté, explorer un moyen efficace et un compromis entre la précision et le coût de développement d'un modèle approximatif pour un système complexe (p. 184, 185).

De plus, du point de vue paradigmatique, la logique floue est loin de constituer une manière réductrice ou simplificatrice. Elle possède des assises mathématiques solides, tel que précisé par Ross (2010) qui affirme que :

Just as an algebraic function maps an input variable to an output variable, a fuzzy system maps an input group to an output group; in the latter these groups can be linguistic propositions or other forms of fuzzy information. The foundation on which fuzzy systems theory rests is a fundamental theorem from real analysis in algebra known as the *Stone–Weierstrass theorem*, first developed in the late nineteenth century by Weierstrass (1885), then simplified by Stone (1937) (p. 7).

Cependant, la logique floue comporte aussi une faiblesse qui tient au concept même de logique floue, car elle s'appuie en partie sur l'expertise et le raisonnement humains qui ne sont jamais totalement exempts de lacunes et de subjectivité.

Bien que les choix du concepteur en matière de variables et de règles puissent être révisés et corrigés au fil des simulations, il n'est pas garanti que ces choix soient les meilleurs ni qu'ils représentent fidèlement les aspects réels qui sont traités par le modèle.

Une telle subjectivité nécessite une rigueur et un sens de la réalité de la part du concepteur. Tel que le manuel de Matlab le précise, « Fuzzy logic is the codification of common sense — use common sense when you implement it and you will probably make the right decision. » (2017, p. 1-7). Or, Ross (2010) affirme que « In his Republic (360 BC), Plato suggests the idea that things that are perceived are only imperfect copies of the true reality that can only be comprehended by pure thought » (p. 7).

En matière décisionnelle, ces réflexions nous ramènent aux assertions de Newell et Simon (1972) concernant l'intelligence artificielle lorsqu'ils soutenaient déjà que « a comprehensive understanding of human decision making would be required if AI was to yield substantial benefits » (cité dans Pomerol et Adam, 2008, p. 3).

5. MODÈLE D'ÉMERGENCE DÉCISIONNELLE PODESIM

The purpose of models is not to fit the data but to sharpen the questions.

Samuel Karlin

Ce chapitre est la mise en œuvre des diverses notions développées dans les chapitres précédents et représente la contribution majeure de cette thèse. Il est consacré au développement du modèle de simulation de l'émergence décisionnelle en politiques publiques (*Policy Decision Emergence Simulation Model*), que nous désignons dans le reste du document par l'acronyme PODESIM.

Ce modèle est un outil de diagnostic décisionnel qui a pour objectif d'identifier les leviers de l'émergence décisionnelle ayant lieu dans l'environnement micro du processus décisionnel qualifié de système complexe. Dans cette démarche, la conception du modèle représente la transformation de la théorie (narrative) des courants multiples en un modèle de simulation à travers l'opérationnalisation des variables et des facteurs issus de l'approche kingdonienne.

Cette transformation des concepts théoriques en modèle de simulation résulte en un système modulaire à inférence floue composé de sous-systèmes, traité par la modélisation et la simulation à l'aide de la plateforme Matlab et du module *Fuzzy Logic Toolbox*.

Au chapitre 3, nous avons conclu que les trois courants de la théorie des courants multiples de Kingdon sont des agrégats qui représentent les variables principales caractérisant le processus d'émergence décisionnelle à l'échelle micro. Ces variables constituent les sous-systèmes de notre modèle, caractérisés chacun par un certain nombre de facteurs qui constituent les entrées respectives de chaque sous-ensemble.

Les variables de sortie de ces trois sous-systèmes constituent les entrées floues d'un quatrième sous-système représentant l'émergence décisionnelle, variable recherchée par la simulation.

La figure 5.1, générée par l'interface graphique Simulink de Matlab, montre la structure du modèle PODESIM. Il s'agit de notre modèle conceptuel présenté par la figure 3.1, adapté à l'interface graphique de la plateforme informatique que nous avons choisie.

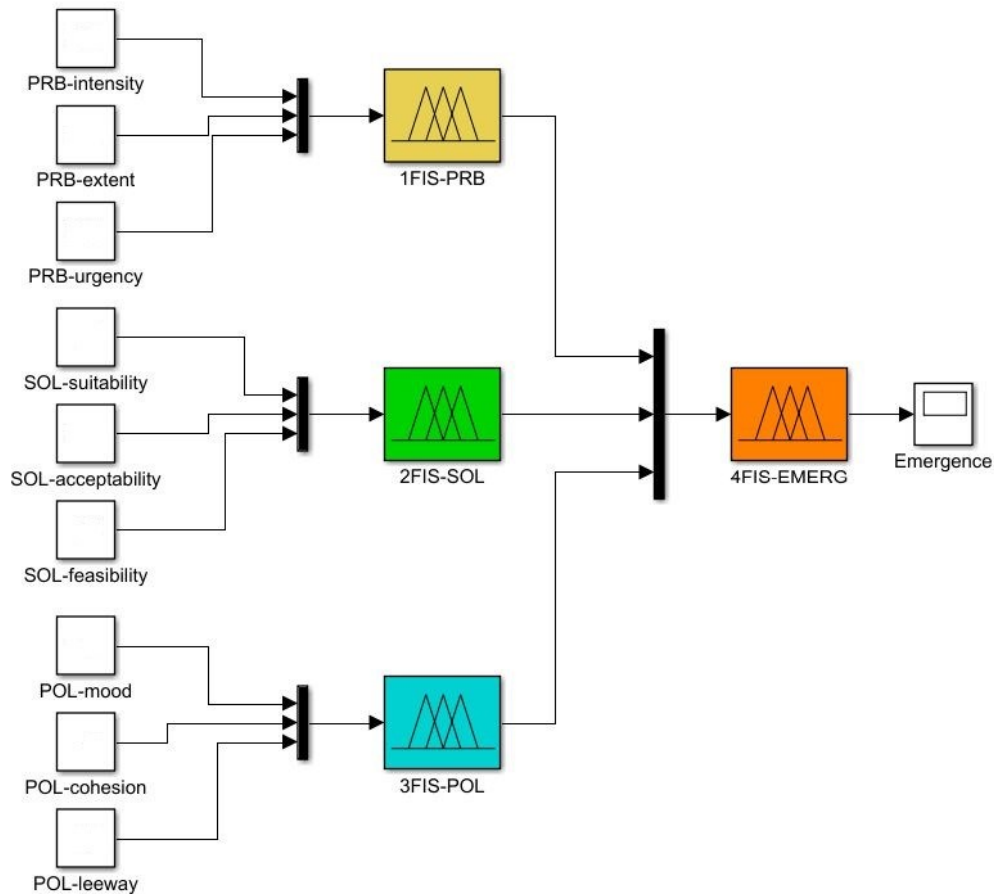


Figure 5.1 Le modèle PODESIM
(image réalisée avec Simulink de Matlab)

Dans cette structure modulaire, nous reprenons les facteurs influents de chaque variable (courant) et les les sous-systèmes à inférence floue (FIS) qui représentent les variables d'entrée et de sortie, à savoir : Problème (PRB), Solution (SOL), Politique (POL) et Émergence (EMERG). Le dernier sous-système convertit le résultat flou obtenu par la simulation en une grandeur numérique comme valeur de la variable de sortie.

Nous représentons dans la figure 5.2 la modélisation au sein de Matlab des FIS. Chaque représentation comprend les facteurs de la variable principale traitée, l’algorithme d’inférence (Mamdani) et la sortie du système symbolisée par cette variable.

Chaque facteur et chaque variable sont représentés par leurs propres fonctions d’appartenance. Ce sont les fonctions que nous avons développées pour décrire les intervalles de valeurs de chaque entité du système.

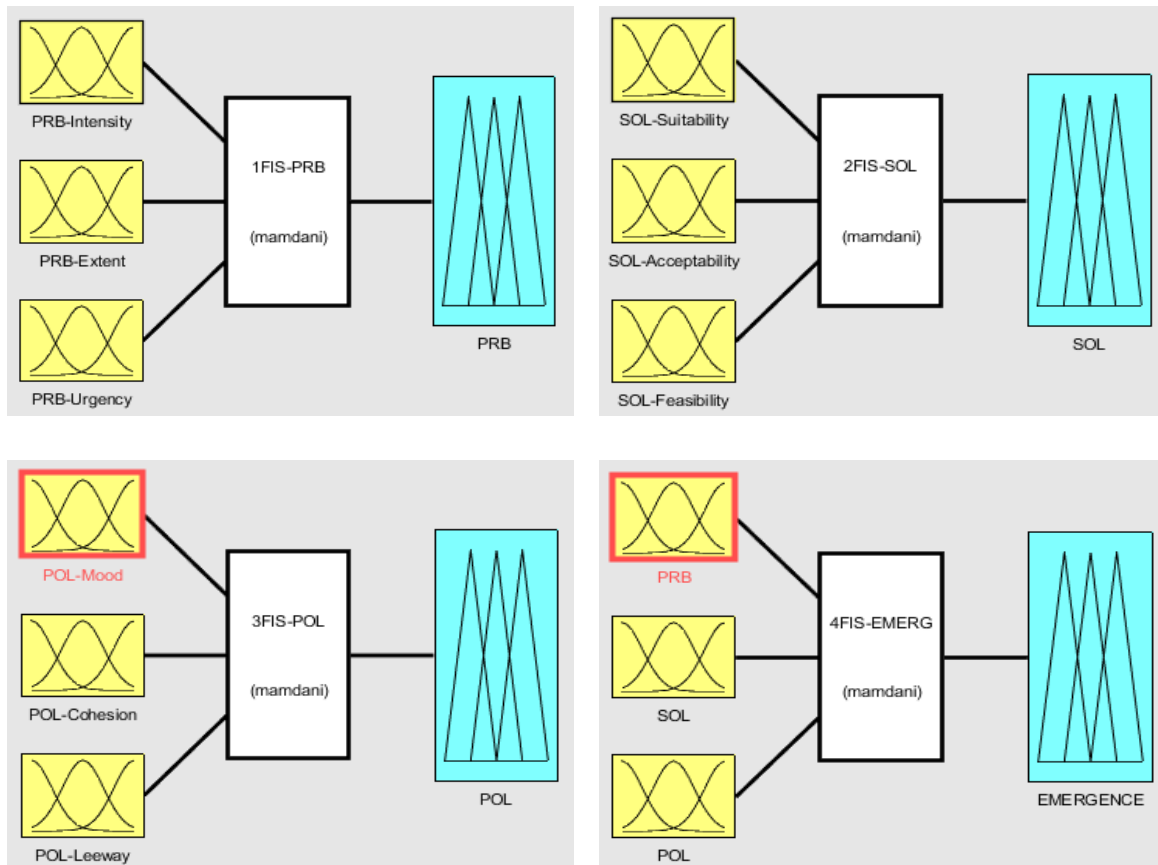


Figure 5.2 Les modules (FIS) du modèle PODESIM²⁴

²⁴ Toutes les étapes de développement et les représentations graphiques qui suivent sont réalisées avec la plateforme Matlab[®] 2017b et le module *Fuzzy Logic Toolbox*[™].

5.1. Les fonctions d'appartenance

L'élaboration de fonctions d'appartenance, nous l'avons vu, est basée sur des données numériques, généralement des séries temporelles, qui permettent au concepteur de définir l'univers du discours, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs situées entre un minimum et un maximum. Cet univers du discours est ensuite divisé en plusieurs intervalles désignés par des variables linguistiques ou variables floues.

Or, nous ne disposons pas de données numériques pour cet exercice.

Pour cette raison, nous avons examiné la nature des entités du modèle afin d'attribuer à chaque entité un univers du discours convenable. Nous avons décidé de choisir un univers du discours situé entre 0 % comme valeur minimale, et 75 % comme valeur maximale. Nous avons justifié ce choix par le fait que la plupart des facteurs du modèle ne devraient dépasser que très rarement le pourcentage maximum de 75%, comme par exemple l'acceptabilité (d'une solution publique) ou l'étendue (d'un problème ou d'un enjeu public). Toutefois, en raison du contexte de l'étude de cas que nous avons choisi et qui concerne une crise internationale, nous n'avons pas opté pour un univers de discours plus faible.

Nous avons divisé l'univers du discours choisi en trois intervalles, caractérisés chacun par une fonction d'appartenance désignée par une variable linguistique. Le tableau 5.1 décrit cette partition.

Tableau 5.1 Partition de l'univers du discours des facteurs et variables

Intervalle [%]	Fonctions d'appartenance
0 – 25	Faible
26 – 50	Moyen
51 – 75	Élevé

La qualification de la nature des entités du modèle et le fait que notre modèle traite d'aspects approximatifs nous autorisent à faire un choix de fonctions d'appartenance basé sur les variables linguistiques et à attribuer ensuite à ces fonctions des pourcentages représentatifs des variables linguistiques qui les désignent pour pouvoir les intégrer dans le modèle informatique.

L'étape suivante a consisté à choisir le type de fonctions d'appartenance pour les entités du modèle. Étant donné que nous ne disposons pas de données numériques, ces fonctions d'appartenance sont de nature fonctionnelle, ce qui nous offre une certaine latitude quant au choix du type de ces fonctions. Nous choisissons donc les plus populaires²⁵. Dans ce projet, nous avons volontairement exclu le type triangulaire de fonctions d'appartenance en raison de la forte linéarité que ce type confère aux opérations. Notre choix s'est arrêté sur deux types parmi les plus populaires, à savoir les fonctions de type trapézoïdal et de type gaussien.

Dans la pratique, des essais et erreurs sont parfois nécessaires pour optimiser la qualité du type de fonctions d'appartenance choisi. D'ailleurs, le manuel de Matlab (2017) précise que « The function itself can be an arbitrary curve whose shape we can define as a function that suits us from the point of view of simplicity, convenience, speed, and efficiency » (p. 2-25, 2-26). Ce qui suggère que ce volet est un thème de recherche toujours en développement.

Afin d'illustrer notre choix, les figures suivantes montrent les fonctions d'appartenance (trapézoïdales) des FIS du modèle PODESIM. Ces figures sont produites par le logiciel Matlab et comprennent les facteurs respectifs de chaque FIS, représentés à leur tour par des fonctions d'appartenance du même type.

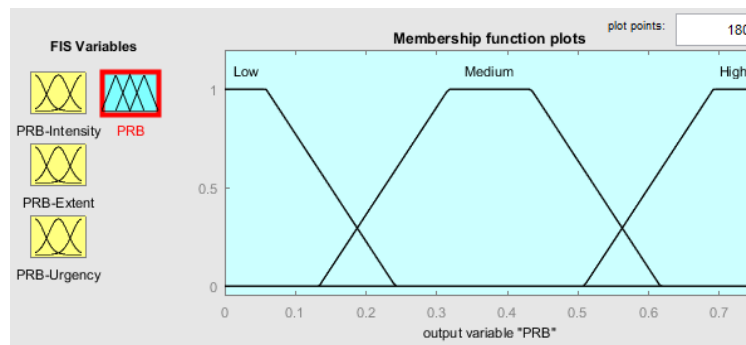


Figure 5.3 Fonctions d'appartenance trapézoïdales du FIS Problème (PRB)

²⁵ Pour plus de détails à ce sujet, voir : Bouchon-Meunier, B., Dotoli, M., & Maione, B. (2007). *On the Choice of Membership Functions in a Mamdani-type Fuzzy Controller*.

Dans la figure 5.3 par exemple, c'est le FIS Problème (PRB) qui est représenté par ses fonctions d'appartenance; il comprend les trois facteurs : l'intensité du problème (PRB-Intensity), l'étendue du problème (PRB-Extent) et l'urgence du problème (PRB-Urgency). Les deux autres FIS du modèle sont représentés de la même façon, avec leurs facteurs respectifs et leurs fonctions d'appartenance.

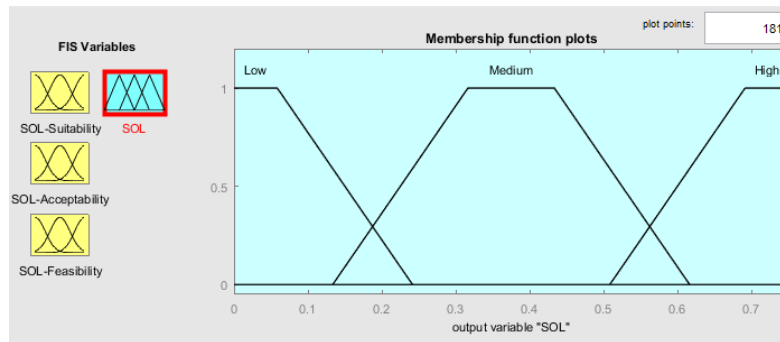


Figure 5.4 Fonctions d'appartenance trapézoïdales du FIS Solution (SOL)

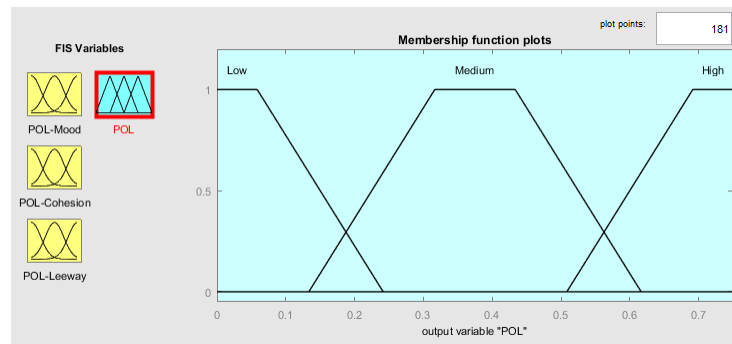


Figure 5.5 Fonctions d'appartenance trapézoïdales du FIS Politique (POL)

Pour ce qui est de la variable de sortie, à savoir le FIS qui représente l'émergence décisionnelle, nous avons choisi quatre fonctions d'appartenance. Ces fonctions d'appartenance sont représentées par les variables linguistiques suivantes, qui désignent quatre intervalles dans un univers du discours allant de 0 % à plus de 60 %.

Il s'agit des intervalles Faible (0 % – 20 %), Moyen (21 % – 40 %), Élevé (41 % – 60 %), Urgent (+60 %).

Les figures 5.6a et 5.6b représentent le FIS Émergence avec deux types de fonctions d'appartenance (respectivement trapézoïdal et gaussien) et comprennent les facteurs de la variable Émergence représentés par les FIS Problème (PRB), Solution (SOL) et Politique (POL). Les extraits de ces derniers FIS deviennent les intrants du FIS Émergence.

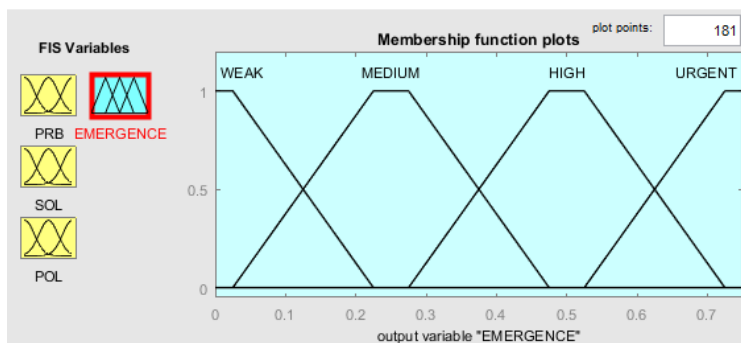


Figure 5.6a Fonctions d'appartenance trapézoïdales du FIS Émergence

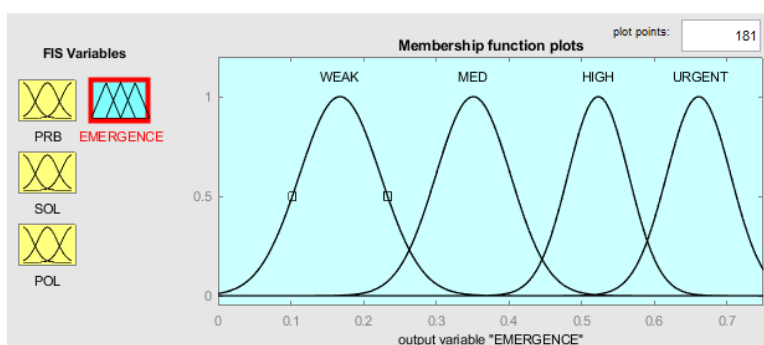


Figure 5.6b Fonctions d'appartenance gaussiennes du FIS Émergence

Les deux types de fonctions d'appartenance sont expérimentés dans ce projet et le choix de quatre fonctions d'appartenance vise une plus grande précision des résultats.

5.2. Les règles d'inférence floues

Les règles d'inférence floue du modèle sont des heuristiques décisionnelles que nous avons conçues spécifiquement pour l'étude de cas qui sera présentée dans la section suivante. Ces règles reposent sur notre jugement et notre appréciation du problème étudié après avoir testé un certain nombre de postulats. Il faut rappeler qu'il n'existe pas de règles générales établies

qui permettent la formulation des règles d'inférence puisque l'exercice se fait au cas par cas, sauf dans des situations particulières qui représentent des similitudes significatives.

Ce volet représente une autre caractéristique des FIS, où l'expertise du concepteur et l'expérimentation permettent d'explorer le champ d'application de règles d'inférence et d'évaluer les résultats qu'elles fournissent.

Tel que nous l'avons expliqué dans la section 4.6.3, nous avons construit une matrice décisionnelle pour chacun des FIS. Chaque matrice comprend 27 règles d'inférence que nous avons définies de sorte à représenter tous les scénarios possibles.

Les tableaux suivants montrent les matrices décisionnelles pour chaque FIS où les colonnes *input* représentent les entrées du FIS sous forme de variable floue, et la colonne *output* les résultats présumés des heuristiques décisionnelles lorsque les règles sont exécutées avec l'opérateur ET.

À titre d'exemple, la première ligne de la matrice décisionnelle du FIS Problème (tableau 5.2) doit se lire comme suit :

SI < intensité = faible > **ET** < étendue = faible > **ET** < urgence = faible >;

ALORS < problème = faible >;

Tableau 5.2 Matrice décisionnelle des règles d'inférence floue
du FIS Problème (PRB)

SI									ALORS		
<i>PRB_Intensity</i> (input)			<i>PRB_Extent</i> (input)			<i>PRB_Urgency</i> (input)			<i>FIS-PRB</i> (output)		
L*	M*	H*	L	M	H	L	M	H	L	M	H
✓			✓			✓			✓		
✓			✓				✓		✓		
✓			✓					✓			✓
✓				✓		✓			✓		
✓				✓			✓			✓	
✓				✓				✓			✓
	✓		✓			✓			✓		
	✓		✓				✓		✓		
	✓		✓					✓			✓
	✓			✓		✓				✓	
	✓			✓			✓			✓	
	✓			✓				✓			✓
		✓	✓			✓			✓		
		✓	✓				✓		✓		
		✓	✓					✓			✓
		✓		✓		✓				✓	
		✓		✓			✓			✓	
		✓		✓				✓			✓
✓					✓	✓				✓	
✓					✓		✓			✓	
✓					✓			✓			✓
	✓				✓	✓			✓		
	✓				✓		✓			✓	
	✓				✓			✓			✓
		✓			✓	✓				✓	
		✓			✓		✓			✓	
		✓			✓			✓			✓

* L: Low, M: Medium, H: High

Tableau 5.3 Matrice décisionnelle des règles d'inférence floue du sous-système Solution (SOL)

SI									ALORS		
<i>SOL_Suitability</i> (input)			<i>SOL_Acceptability</i> (input)			<i>SOL_Feasibility</i> (input)			<i>FIS-SOL</i> (output)		
L*	M*	H*	L	M	H	L	M	H	L	M	H
✓			✓			✓			✓		
✓			✓				✓		✓		
✓			✓					✓			✓
✓				✓		✓			✓		
✓				✓			✓			✓	
✓				✓				✓			✓
	✓		✓			✓			✓		
	✓		✓				✓		✓		
	✓		✓					✓			✓
	✓			✓		✓				✓	
	✓			✓			✓			✓	
	✓			✓				✓			✓
		✓	✓			✓			✓		
		✓	✓				✓		✓		
		✓	✓					✓			✓
		✓		✓		✓				✓	
		✓		✓			✓			✓	
		✓		✓				✓			✓
✓					✓	✓				✓	
✓					✓		✓			✓	
✓					✓			✓			✓
	✓				✓	✓			✓		
	✓				✓		✓			✓	
	✓				✓			✓			✓
		✓			✓	✓				✓	
		✓			✓		✓			✓	
		✓			✓			✓			✓

* L: Low, M: Medium, H: High

Tableau 5.4 Matrice décisionnelle des règles d'inférence floue
du sous-système Politique (POL)

SI									ALORS		
<i>POL_Mood</i> (input)			<i>POL_Cohesion</i> (input)			<i>POL_Leeway</i> (input)			<i>FIS-POL</i> (output)		
L*	M*	H*	L	M	H	L	M	H	L	M	H
✓			✓			✓			✓		
✓			✓				✓		✓		
✓			✓					✓			✓
✓				✓		✓			✓		
✓				✓			✓			✓	
✓				✓				✓			✓
	✓		✓			✓			✓		
	✓		✓				✓		✓		
	✓		✓					✓			✓
	✓			✓		✓				✓	
	✓			✓			✓			✓	
	✓			✓				✓			✓
		✓	✓			✓			✓		
		✓	✓				✓		✓		
		✓	✓					✓			✓
		✓		✓		✓				✓	
		✓		✓			✓			✓	
		✓		✓				✓			✓
✓					✓	✓				✓	
✓					✓		✓			✓	
✓					✓			✓			✓
	✓				✓	✓			✓		
	✓				✓		✓			✓	
	✓				✓			✓			✓
		✓			✓	✓				✓	
		✓			✓		✓			✓	
		✓			✓			✓			✓

* L: Low, M: Medium, H: High

Enfin, pour ce qui concerne le FIS Émergence, nous avons aussi construit une matrice décisionnelle avec l'opérateur ET. Ce choix est inspiré par les concepts de la théorie des courants multiples qui constitue la base théorique du modèle PODESIM. En effet, la théorie des courants multiples stipule que les trois courants (problème, solution et politique) doivent être conjugués pour qu'il y ait un intérêt des décideurs pour l'enjeu public. Cette vision est traduite ici par l'application de l'opérateur ET dans les règles d'inférence du FIS Émergence.

Dans le but d'illustrer la manière dont les règles d'inférence sont représentées dans *Fuzzy Logic Toolbox*, nous avons choisi de représenter dans la figure 5.8 les règles d'inférence du FIS Émergence traduites par cette plateforme sur la base de notre matrice décisionnelle.

1. If (PRB is Low) and (SOL is Low) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
2. If (PRB is Low) and (SOL is Low) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
3. If (PRB is Low) and (SOL is Low) and (POL is High) then (EMERGENCE is MED) (1)
4. If (PRB is Low) and (SOL is Medium) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
5. If (PRB is Low) and (SOL is Medium) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is MED) (1)
6. If (PRB is Low) and (SOL is Medium) and (POL is High) then (EMERGENCE is MED) (1)
7. If (PRB is Medium) and (SOL is Low) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
8. If (PRB is Medium) and (SOL is Low) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is MED) (1)
9. If (PRB is Medium) and (SOL is Low) and (POL is High) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
10. If (PRB is Medium) and (SOL is Medium) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
11. If (PRB is Medium) and (SOL is Medium) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is MED) (1)
12. If (PRB is Medium) and (SOL is Medium) and (POL is High) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
13. If (PRB is High) and (SOL is Low) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
14. If (PRB is High) and (SOL is Low) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is MED) (1)
15. If (PRB is High) and (SOL is Low) and (POL is High) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
16. If (PRB is High) and (SOL is Medium) and (POL is Low) then (EMERGENCE is MED) (1)
17. If (PRB is High) and (SOL is Medium) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
18. If (PRB is High) and (SOL is Medium) and (POL is High) then (EMERGENCE is URGENT) (1)
19. If (PRB is Low) and (SOL is High) and (POL is Low) then (EMERGENCE is WEAK) (1)
20. If (PRB is Low) and (SOL is High) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is MED) (1)
21. If (PRB is Low) and (SOL is High) and (POL is High) then (EMERGENCE is MED) (1)
22. If (PRB is Low) and (SOL is High) and (POL is Low) then (EMERGENCE is MED) (1)
23. If (PRB is Medium) and (SOL is High) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
24. If (PRB is Medium) and (SOL is High) and (POL is High) then (EMERGENCE is URGENT) (1)
25. If (PRB is High) and (SOL is High) and (POL is Low) then (EMERGENCE is HIGH) (1)
26. If (PRB is High) and (SOL is High) and (POL is Medium) then (EMERGENCE is URGENT) (1)
27. If (PRB is High) and (SOL is High) and (POL is High) then (EMERGENCE is URGENT) (1)

Figure 5.8 Règles d'inférence du sous-système Émergence

5.3. Étude de cas : validation du modèle et résultats

Après une phase expérimentale durant laquelle nous avons vérifié le fonctionnement du modèle et de ses FIS, nous procédons dans cette section à la validation du modèle à travers la simulation d'un cas empirique en politique étrangère²⁶. Rappelons que tout modèle de simulation doit impérativement être validé à l'aide de cas empiriques réels.

5.3.1. Le choix du cas empirique

Notre choix s'est arrêté sur la crise des missiles de Cuba (15 au 28 octobre 1962). Ce cas représente plusieurs facettes qui peuvent apporter une contribution substantielle à cette phase du projet. En effet, les multiples sources documentaires concernant ce cas et les analyses effectuées par plusieurs à l'aide de diverses approches représentent l'avantage de fournir des renseignements importants qui touchent les entités du modèle PODESIM. Les données fournies par les différentes sources et leur croisement permettent d'obtenir des grandeurs plausibles pour procéder aux simulations.

Dans cette perspective, la simulation de la crise des missiles de Cuba constitue un moyen de validation du modèle et un test nécessaire et déterminant pour faire ressortir les forces et les limites du modèle PODESIM.

Par ailleurs, les résultats obtenus par la simulation viendront, dans ce cas, ajouter une couche explicative complémentaire qui pourrait faire ressortir de nouveaux détails concernant les leviers de l'émergence décisionnelle lors de la crise des missiles de Cuba. Allison et Zelikow (1999) soutiennent que « The "missiles of October" offer a set of fascinating puzzles for any analyst » (p. 77), ce qui vient renforcer notre choix.

Dobbs (2008), pour sa part, soutient qu'il est nécessaire d'étudier davantage la crise des missiles de Cuba, qui n'a pas encore livré tous ses secrets. Enfin, Hass (2001) affirme que la

²⁶ La politique étrangère peut être appréhendée par les outils des politiques publiques. Voir à ce sujet : Marie-Christine KESSLER, (2002). « La politique étrangère comme politique publique », dans Frédéric Charillon, *Politique étrangère : Nouveaux regards*. Paris : Presses de Sciences Po, p. 167-192.

déclassification de renseignements importants concernant cette crise, notamment les enregistrements des réunions des officiels américains, pourrait donner lieu à des interprétations plus précises et fournir des leçons de l'étude de cette crise qui a constitué une des périodes les plus dangereuses de l'histoire récente.

5.3.2. La collecte de données

Le choix du cas empirique et la nature des données nécessaires à la simulation nous ont dicté l'analyse documentaire comme méthode de recherche qualitative pour notre collecte des données. Dans cette démarche empirique, c'est le modèle PODESIM qui nous a servi de guide pour la cueillette et le traitement de données. En effet, le modèle sert un objectif en particulier et c'est la nature et la vocation du modèle qui déterminent les données nécessaires à son traitement.

Nous avons donc recensé les références qui traitent de la crise et de la prise de décision du côté étatsunien, et nous avons concentré nos efforts sur les facteurs du modèle PODESIM qui constituent les leviers de l'émergence décisionnelle au sein de l'administration américaine.

Pour cela, nous avons basé majoritairement notre collecte d'information sur la transcription des *verbatim* de toutes les réunions de l'ExCom (May et Zelikow, 1997), appuyée par une sélection d'ouvrages recensés comme des sources primaires, écrits par des acteurs et des témoins directs de la crise.

Précisons que la transcription des *verbatim* provient des enregistrements sonores authentiques des réunions de la cellule de crise mise sur pied par Kennedy et qui ont été effectués à l'insu des membres de l'ExCom, ce qui leur confère une importance considérable pour fournir des renseignements factuels.

Nous nous sommes donc tenus aux faits relatés par les acteurs, et non à une quelconque interprétation de ces faits.

Les ouvrages qui ont servi à cette cueillette de données sont les suivants :

Brugioni, D. A. (1991). *Eyeball to eyeball. The Inside Story of the Cuban Missile Crisis*. Random House, New York.

Dobbs, M. (2008). *One Minute to Midnight*. Alfred A. Knopf. New York.

Kennedy, R. F. (1968). *Thirteen Days. The Cuban Missile Crisis. October 1962*. Macmillan

May, E. R. & Zelikow, P. D. (Eds) (1997). *The Kennedy tapes: inside the White house during the Cuban missile crisis*. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachussets, and London, England.

Sorensen, T. C. (1965). *Kennedy: The Classic Biography*. Harper & Row, Publishers (Chapitre XXIV).

Collectif (2010). *Minute by Minute: The Role of Intelligence in the Cuban Missile Crisis*. Second Edition. International Spy Museum. Washington D.C.

Le choix de ces références bibliographiques est basé sur le fait que ces ouvrages traitent principalement des événements et de la chronologie de la crise, surtout du contenu des échanges au sein de la cellule de crise mise en place par l'administration américaine dès le début de cette crise.

Nous avons effectué une recherche thématique dans les ouvrages mentionnés ci-haut sous forme d'analyse textuelle exploratoire de manière inductive fondée sur une statistique fréquentielle. Cette analyse a pour objectif d'identifier les liens entre le contenu textuel, notamment les *verbatim*, et les facteurs du modèle. L'analyse textuelle a permis d'attribuer des grandeurs aux facteurs de chacun des trois sous-systèmes²⁷ du modèle, et ce, pour chaque jour de la crise. Ces grandeurs, nécessaires pour procéder à la simulation, sont représentées par les variables linguistiques déjà définies : faible, moyen et élevé.

²⁷ Dans la suite du document, nous désignons les courants aussi bien par les qualificatifs variables ou sous-systèmes et leurs entités constitutives par le terme facteurs. Ce choix est dicté par un souci de clarté dans le but de dissocier les entités du modèle et mieux présenter les résultats.

Nous avons donc défini, pour chaque jour de la crise, une arborescence qui représente les variables du système (les FIS) et leurs facteurs respectifs; et nous avons compilé les références textuelles (occurrences) relatives à chacun des facteurs à l'aide du logiciel Nvivo® dans le but d'attribuer à chacun une certaine grandeur, décrite par une variable linguistique, qui puisse être utilisée dans la simulation.

Le tableau 5.5 montre un exemple de cette démarche pour un jour quelconque de la crise et une des variables du système (Problème).

Tableau 5.5 Méthode de codage des facteurs

Jour	Variable	Facteur	Grandeur	Référence textuelles
Jour X	Problème	Intensité	Faible	...
			Moyen	
			Élevé	Exemple : « [...] the Soviet Union, for the past several days, has taken steps to bring its military forces into a complete state of readiness » (May et Zelikow, 1997, p. 348)
		Étendue	Faible	
			Moyen	
			Élevé	
		Urgence	Faible	
			Moyen	
			Élevé	Exemple : « I must inform you, however, that this is a matter of great urgency [...] » (Kennedy, 1968, p. 157)
	Solution

La compilation des références textuelles nous a permis d'attribuer des grandeurs aux facteurs du modèle, désignées par des variables floues, que nous représentons dans le tableau 5.6.

Tableau 5.6 Évaluation des facteurs des FIS (PRB, SOL et POL)
(Crise des missiles de Cuba, 15 au 28 octobre 1962)

Date (octobre 1962)	FIS problème (PRB)									FIS solution (SOL)									FIS politique (POL)								
	Intensité			Étendue			Urgence			Convenance			Acceptabilité			Faisabilité			Climat			Cohésion			Latitude		
	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E
15			✓	✓				✓					✓					✓			✓						
16	X	X		✓				✓		✓			X	X		✓			✓			✓			✓		
17			✓			✓			✓		✓		✓			✓			✓					✓			
18			✓			✓			✓	✓			X	X			✓	✓			X	X		✓			
19			✓			✓			✓	✓			✓				✓		✓		✓				✓		
20		X	X			✓			✓			✓	✓				✓	✓				✓				✓	
21			✓			✓			✓			✓					✓		✓			✓				✓	
22			✓			✓			✓		✓						✓		✓				✓			✓	
23			✓			✓			✓			✓			✓		✓		✓				✓			✓	
24			✓			✓			✓			✓				✓		✓			✓			✓			
25		X	X		✓				✓			✓		X	X			✓			✓					✓	
26			✓			✓			✓		✓					X	X		✓			✓				✓	
27			✓			✓			✓	✓				✓				✓			✓				✓		
28	X	X			✓		✓			X	X			✓					✓			✓			✓		

F, M, E : Faible, moyen, élevé

X Évaluations à égalité approximative

5.3.3. Simulations et résultats

La simulation a consisté à attribuer à chaque facteur diverses valeurs à l'intérieur des intervalles de valeurs définis par les fonctions d'appartenance. À titre d'exemple, si un facteur est considéré faible (0 % à 25 %), nous procédons à la simulation avec différentes valeurs de l'intervalle faible pour nous assurer que la simulation couvre toutes les grandeurs de l'intervalle.

Cette manière a permis de produire des résultats, qui représentent les grandeurs minimale et maximale de la variable simulée, générés par l'agrégation des règles d'inférence et par la défuzzification. Ces deux grandeurs expriment la plage de résultats possibles et nous permettent de déterminer une valeur moyenne de la variable de sortie qui sert aux représentations graphiques.

Nous avons procédé de la façon suivante :

Pour chaque jour de la crise, considéré comme une étape ou un « pas de temps » dans le jargon de la simulation, nous avons procédé aux simulations en alimentant le modèle avec les grandeurs représentatives de chaque facteur, en tant qu'entrées du système (*inputs*).

Ces grandeurs proviennent de notre recherche documentaire et sont fournies au simulateur sous forme de valeurs numériques qui couvrent la plage de l'intervalle désigné par la variable floue (faible, moyen, élevé), tel qu'expliqué plus haut. Cette démarche a pour but de tester l'impact des différentes valeurs de chaque facteur sur le sous-système auquel il appartient.

Par exemple, pour tester l'influence du facteur « Convenance » situé dans l'intervalle désigné par la variable floue « Moyen » sur la variable « Solution », nous procédons à plusieurs itérations avec différentes valeurs du facteur « Convenance » situées entre 0.26 et 0.5 (c'est-à-dire entre 26 % et 50 % tel que nous avons déterminé pour cet intervalle).

Cette étape permet de dégager un ensemble de grandeurs pour chaque variable ou sous-système, à savoir le problème (PRB), la solution (SOL) et le politique (POL) en fonction des propres facteurs, en tant que sorties du système (*outputs*).

Chaque grandeur obtenue pour chacune des variables est située entre une valeur minimale et une valeur maximale qui vont correspondre à l'un des intervalles de valeurs désigné par une des variables floues (faible, moyen, élevé). Les grandeurs obtenues deviennent à leur tour les nouvelles entrées (*inputs*) du système pour simuler la nouvelle sortie (*output*), c'est-à-dire l'émergence décisionnelle influencée par ces variables. Cette étape de la simulation permet de générer une grandeur numérique de la variable Émergence en tant que sortie du système. La figure 5.1 représente visuellement ces opérations.

Toutes les grandeurs générées par la simulation sont le résultat de l'inférence floue après application et agrégation des règles d'inférence et défuzzification. Étant donné que le modèle PODESIM est au stade de prototype, nous devons le tester avec plusieurs configurations afin d'évaluer ses résultats et l'influence de chaque configuration sur ces résultats. C'est-à-dire l'influence des fonctions d'appartenance et des méthodes de défuzzification choisies.

Nous avons donc procédé aux simulations avec les configurations choisies que nous avons décrites et expliquées à la section 5.1 et qui concernent deux types de fonctions d'appartenance : trapézoïdal et gaussien. Étant donné que les fonctions d'appartenance sont un élément principal dans tout système à inférence floue, le choix de leur type est très important en raison de leur effet sur le système d'inférence. La simulation effectuée fournit des renseignements importants sur l'efficacité de chaque type de fonctions d'appartenance dans le contexte du projet.

De plus, nous avons aussi appliqué pour chacune de ces configurations les deux méthodes de défuzzification que nous avons présentées dans la section 4.6.4, à savoir : la méthode du centre de gravité (COG) et la méthode de la moyenne des maximums (MOM). Ces deux méthodes sont susceptibles de fournir des résultats différents, ce qui nous permet de les comparer et de juger de leur impact sur les résultats.

Les figures suivantes montrent un échantillon de simulation effectuée à l'aide du module *Rule Viewer* de *Fuzzy Logic Toolbox*. Le module *Rules Viewer* permet d'observer les simulations pour chaque sous-système en fonction des grandeurs fournies à l'entrée.

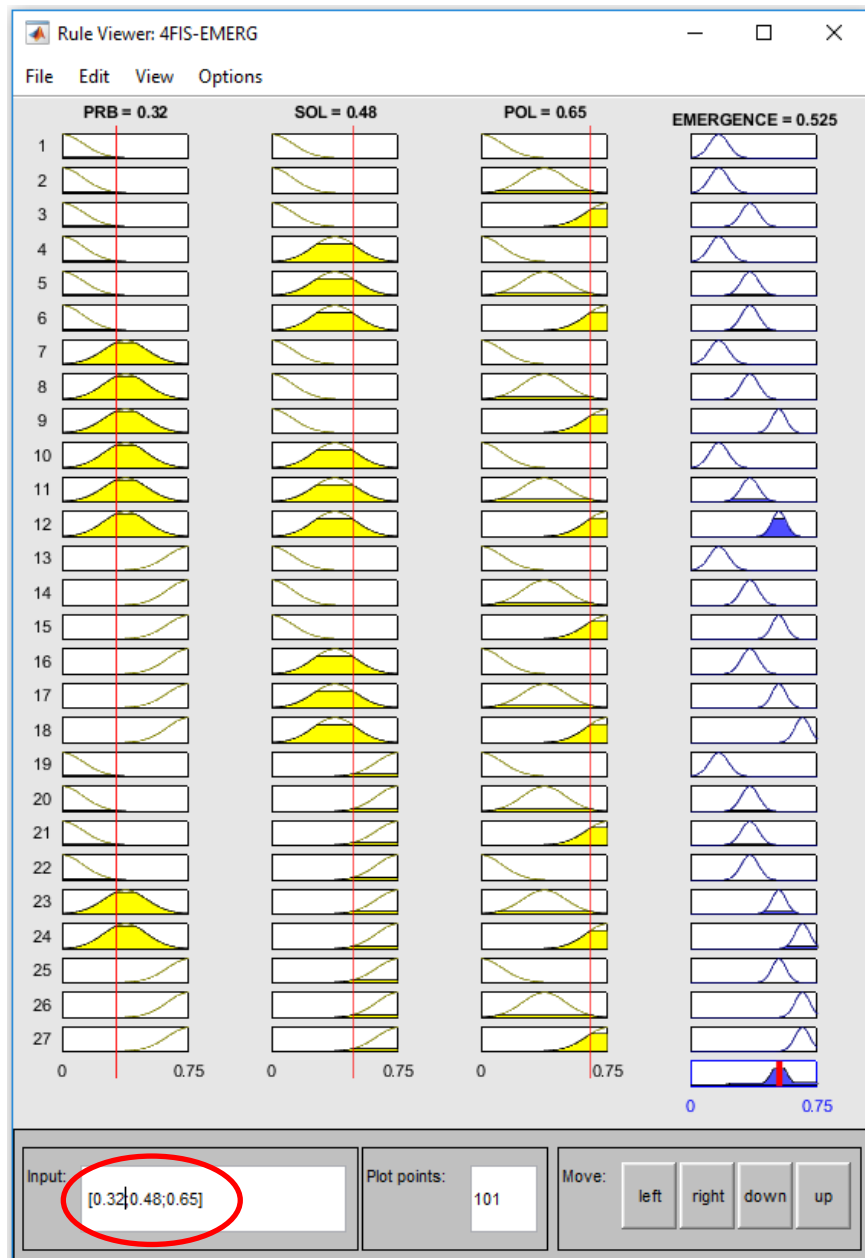


Figure 5.9 Exemple de simulation et calcul de la variable de sortie EMERGENCE

L'échantillon de la figure 5.9 montre les valeurs et les fonctions d'appartenance de chacune des variables d'entrée (PRB, SOL, POL) ainsi que la valeur de la variable de sortie ÉMERGENCE après agrégation des règles d'inférence et défuzzification. Ces règles sont représentées par les 27 lignes de la figure.

Les simulations effectuées selon la démarche décrite au début de cette section ont permis de générer les résultats suivants selon les configurations décrites plus haut.

Configuration 1 : Fonctions d'appartenance trapézoïdales et défuzzification COG et MOM

Tableau 5.7 Grandeurs numériques défuzzifiées des variables du modèle

Date	FIS - PRB			FIS - SOL			FIS - POL			FIS - EMERGENCE	
	PRB (Min)	PRB (Max)	PRB (Moy)	SOL (Min)	SOL (Max)	SOL (Moy)	POL (Min)	POL (Max)	POL (Moy)	EMERG (COG)	EMERG (MOM)
15	0.092	0.103	0.098	0.088	0.093	0.091	0.088	0.105	0.097	0.162	0.162
16	0.180	0.318	0.249	0.180	0.318	0.249	0.180	0.318	0.249	0.297	0.323
17	0.432	0.666	0.549	0.180	0.318	0.249	0.180	0.318	0.249	0.433	0.476
18	0.647	0.668	0.658	0.647	0.652	0.650	0.318	0.318	0.318	0.665	0.665
19	0.647	0.668	0.658	0.557	0.647	0.602	0.103	0.200	0.152	0.460	0.481
20	0.666	0.668	0.667	0.430	0.655	0.543	0.318	0.647	0.483	0.592	0.628
21	0.666	0.668	0.667	0.655	0.655	0.655	0.318	0.647	0.483	0.665	0.665
22	0.666	0.668	0.667	0.663	0.668	0.666	0.570	0.668	0.619	0.666	0.665
23	0.666	0.668	0.667	0.647	0.668	0.658	0.375	0.375	0.375	0.665	0.665
24	0.570	0.652	0.611	0.317	0.647	0.482	0.180	0.373	0.277	0.498	0.581
25	0.377	0.668	0.523	0.657	0.668	0.663	0.570	0.647	0.609	0.631	0.648
26	0.432	0.662	0.547	0.375	0.375	0.375	0.550	0.647	0.599	0.538	0.602
27	0.432	0.668	0.550	0.375	0.375	0.375	0.103	0.318	0.211	0.341	0.430
28	0.263	0.318	0.291	0.663	0.668	0.666	0.180	0.180	0.180	0.482	0.500

Ces résultats ont permis de générer le graphique suivant, qui comprend l'histogramme des variables d'entrée et les courbes de l'émergence décisionnelle.

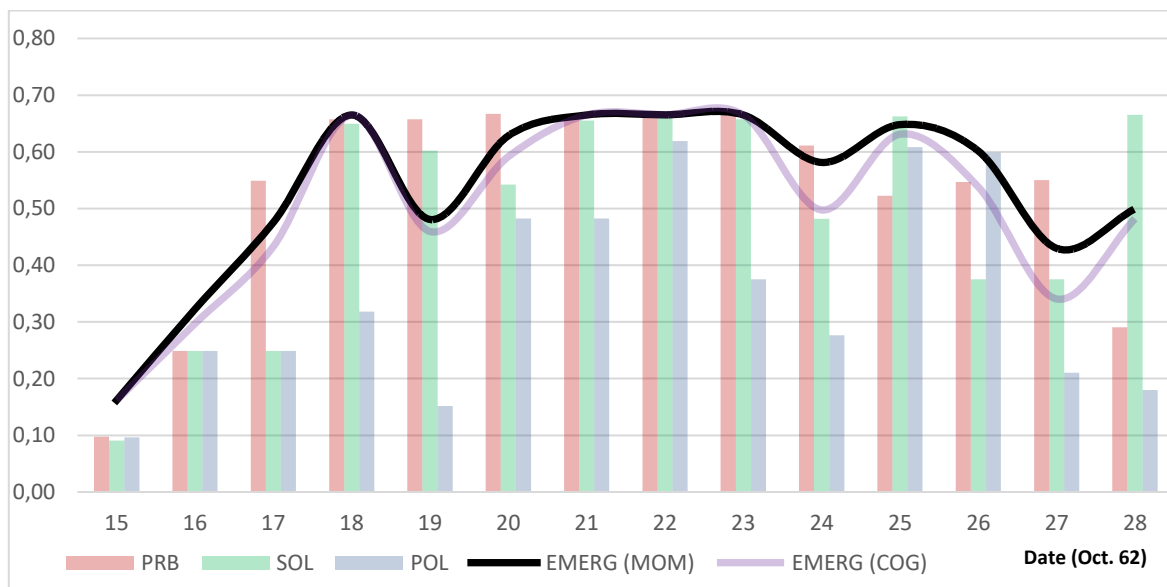


Figure 5.10 Émergence décisionnelle et sous-systèmes

Configuration 2 : Fonctions d'appartenance gaussiennes et défuzzification COG et MOM

Tableau 5.8 Grandeurs numériques défuzzifiées des variables du modèle

Date	FIS - PRB			FIS - SOL			FIS - POL			FIS - EMERGENCE	
	PRB (Min)	PRB (Max)	PRB (Moy)	SOL (Min)	SOL (Max)	SOL (Moy)	POL (Min)	POL (Max)	POL (Moy)	EMERG (COG)	EMERG (MOM)
15	0.261	0.339	0.300	0.187	0.328	0.258	0.187	0.328	0.258	0.310	0.352
16	0.187	0.355	0.271	0.187	0.305	0.246	0.187	0.328	0.258	0.308	0.349
17	0.424	0.626	0.525	0.375	0.375	0.375	0.187	0.341	0.264	0.361	0.349
18	0.424	0.626	0.525	0.448	0.551	0.500	0.328	0.345	0.337	0.425	0.349
19	0.424	0.626	0.525	0.570	0.589	0.580	0.261	0.339	0.300	0.459	0.525
20	0.587	0.638	0.613	0.538	0.565	0.552	0.470	0.598	0.534	0.520	0.521
21	0.424	0.626	0.525	0.563	0.602	0.583	0.520	0.624	0.572	0.512	0.660
22	0.424	0.626	0.525	0.561	0.602	0.582	0.415	0.635	0.525	0.489	0.525
23	0.424	0.626	0.525	0.422	0.626	0.524	0.375	0.386	0.381	0.447	0.349
24	0.424	0.626	0.525	0.210	0.366	0.288	0.261	0.345	0.303	0.376	0.349
25	0.606	0.636	0.621	0.210	0.339	0.275	0.485	0.598	0.542	0.520	0.525
26	0.424	0.626	0.525	0.338	0.596	0.467	0.607	0.634	0.621	0.512	0.525
27	0.424	0.626	0.525	0.451	0.595	0.523	0.305	0.339	0.322	0.434	0.349
28	0.305	0.365	0.335	0.489	0.624	0.557	0.328	0.339	0.334	0.408	0.352

Avec la représentation graphique suivante :

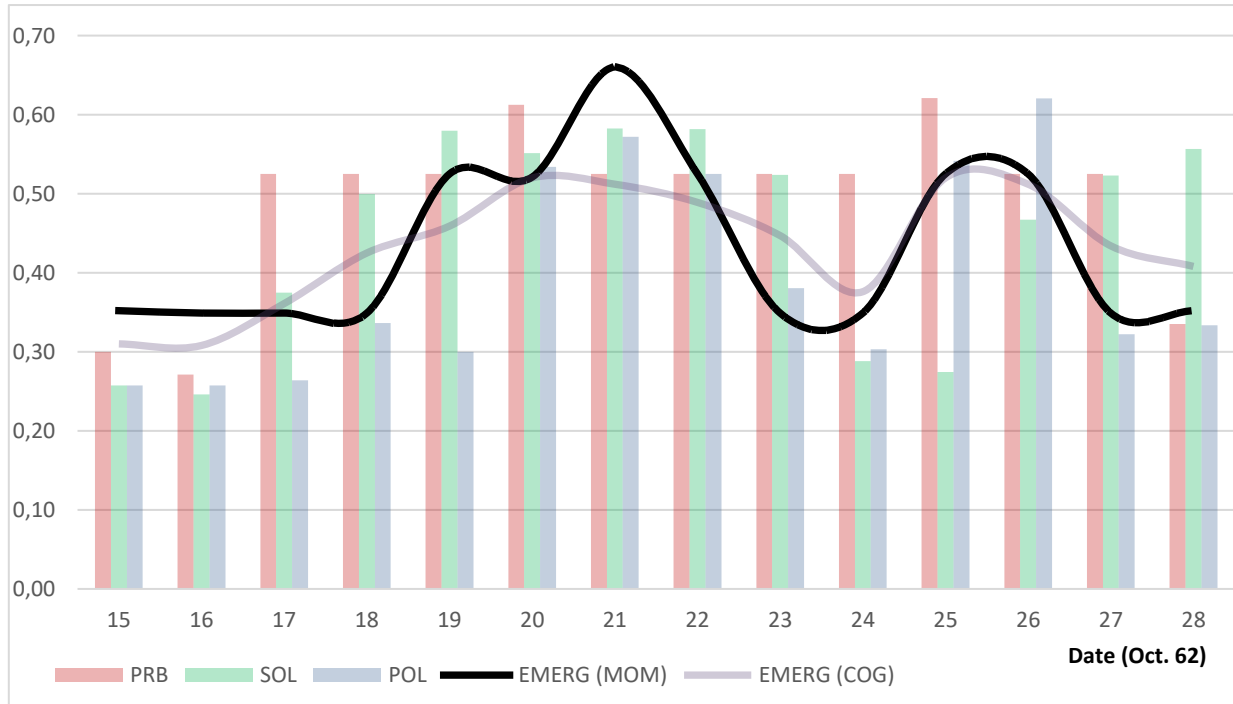


Figure 5.11 Émergence décisionnelle et sous-systèmes

5.3.4. Interprétation méthodologique des résultats

L'examen des résultats obtenus nous permet de tirer quelques remarques importantes concernant la démarche. Selon la première configuration avec des fonctions d'appartenance de type trapézoïdal, nous pouvons remarquer que la courbe de l'émergence décisionnelle affiche un saut abrupt au début et une phase constante au centre. Ces aspects peuvent s'expliquer par le fait que les fonctions d'appartenance trapézoïdales sont de nature linéaire. Elles sont donc susceptibles de passer d'une valeur minimale à une valeur maximale sans tenir compte de tout aspect transitoire. En ce sens, elles représentent une certaine faiblesse de la méthode dans le contexte de ce projet.

Par ailleurs, les courbes de l'émergence qui traduisent les deux méthodes de défuzzification sont très rapprochées. Cet aspect signifie que la méthode de défuzzification a peu d'effet sur le résultat fourni, ce qui est peu probable dans cette étude de cas. En effet, dans le calcul de la variable de sortie, nous l'avons vu, les deux méthodes ne prennent pas en compte les mêmes grandeurs pour calculer la variable de sortie.

Pour ce qui est de la deuxième configuration, qui fait usage de fonctions d'appartenance de type gaussien, elle fournit des résultats plus équilibrés avec la méthode de défuzzification du centre de gravité (COG). Cette méthode prend en considération l'ensemble des valeurs issues de l'agrégation des règles d'inférence et calcule le centre de gravité de la surface résultante de cette agrégation (voir section 4.6.4). Ceci indique que toutes les variables ont pu influencer l'émergence décisionnelle de manière assez équilibrée, ce qui est peu probable dans la réalité, notamment en contexte de crise.

Par contre, avec la méthode de défuzzification de la moyenne des maximums (MOM), la représentation graphique indique une variation substantielle de la variable Émergence. Ce phénomène est dû à la nature même de la méthode qui a un pouvoir discriminant lorsqu'elle calcule la valeur de sortie, car elle ne prend en compte que les valeurs générées par l'agrégation des règles d'inférence qui correspondent aux maximums des fonctions d'appartenance. Ce qui exclut les grandeurs faibles du système.

Lors d'une crise, il nous semble plus approprié de considérer que cette méthode fournit des résultats plus réalistes car, dans ce contexte, seules les variables les plus significatives revêtent en général une plus grande importance aux yeux des décideurs. Ces derniers ne peuvent être en possession de tous les renseignements ni en mesure d'évaluer toutes les options qui leur permettent de considérer tous les facteurs en jeu. Ils s'en tiennent donc aux aspects les plus importants. Le pouvoir discriminatoire de la méthode MOM semble donc mieux expliquer cette situation.

Nous concluons que la deuxième configuration utilisant des fonctions d'appartenance gaussiennes et la méthode de défuzzification de la moyenne des maximums (MOM) est plus appropriée pour l'étude de notre cas empirique et elle explique mieux le phénomène de l'émergence décisionnelle. Nous croyons en effet que les fonctions d'appartenance de type gaussien sont, dans ce cas, plus adéquates pour appréhender les situations floues. Ce type de fonction représente mieux les systèmes complexes non linéaires où les données utilisées sont de nature probabiliste.

Dans le chapitre suivant, nous nous appuyons sur les résultats obtenus par cette dernière configuration pour procéder à l'analyse.

6. ANALYSE DES RÉSULTATS

Si tout sur Terre était rationnel, rien ne se passerait.

Fiodor Dostoïevski

Cette analyse est basée sur nos conclusions de la section 5.3.4 concernant l'évaluation méthodologique des résultats. À titre de rappel, ces résultats sont ceux obtenus par la simulation effectuée avec des fonctions d'appartenance gaussiennes et la méthode de défuzzification de la moyenne des maximums (MOM). Nous avons jugé que cette méthode associée aux fonctions choisies constitue une configuration qui traduit mieux que les autres la réalité floue du système complexe étudié et de ses entités.

Dans ce chapitre, notre démarche ne consiste pas à analyser la crise des missiles de Cuba, mais bien les résultats obtenus par la simulation à la lumière des faits, des événements et des actions qui touchent directement l'environnement décisionnel étudié, en l'occurrence l'administration américaine, pendant la durée de cette crise. L'objectif est donc d'analyser, pour chaque jour de la crise, l'état du système représenté par le modèle et l'émergence décisionnelle qui en découle. C'est-à-dire identifier le niveau de l'émergence décisionnelle, la grandeur des variables qui représentent les courants et vérifier dans des ouvrages de référence si ces résultats sont corroborés par les faits et s'il y a convergence de ces résultats avec des analyses semblables; et enfin, extraire des données collectées les facteurs susceptibles de constituer les leviers de l'émergence décisionnelle obtenue par simulation en appuyant cette conclusion par des références s'il y a lieu.

Précisons que pour une plus grande objectivité de cette analyse, nous avons volontairement choisi des ouvrages de référence différents de ceux qui ont servi à la cueillette des données. En effet, ces derniers rapportent les propos des acteurs et des témoins de la crise qui nous ont permis de mesurer les facteurs du système. Ils ne doivent donc pas constituer une base d'analyse des résultats obtenus par la simulation effectuée avec les mesures de ces facteurs.

Par ailleurs, étant donné que l'émergence traduit les circonstances décisionnelles susceptibles de mener à une prise de décision, notre analyse ne concerne pas une décision spécifique mais l'état de l'environnement décisionnel, à chaque jour de la crise, quelle que soit l'issue de l'émergence décisionnelle. Cette crise est marquée par un ensemble de circonstances décisionnelles qui ont été analysées et évaluées au jour le jour en raison de la diversité des alternatives évoquées qui concernent la réponse à apporter par l'administration américaine à la crise, d'autant plus que des divergences majeures ont marqué les discussions au sein de l'administration américaine et de la cellule de crise quant à la réponse à apporter.

D'entrée de jeu, nous reprenons le graphique des résultats obtenus pour illustrer des particularités que ces résultats font ressortir.

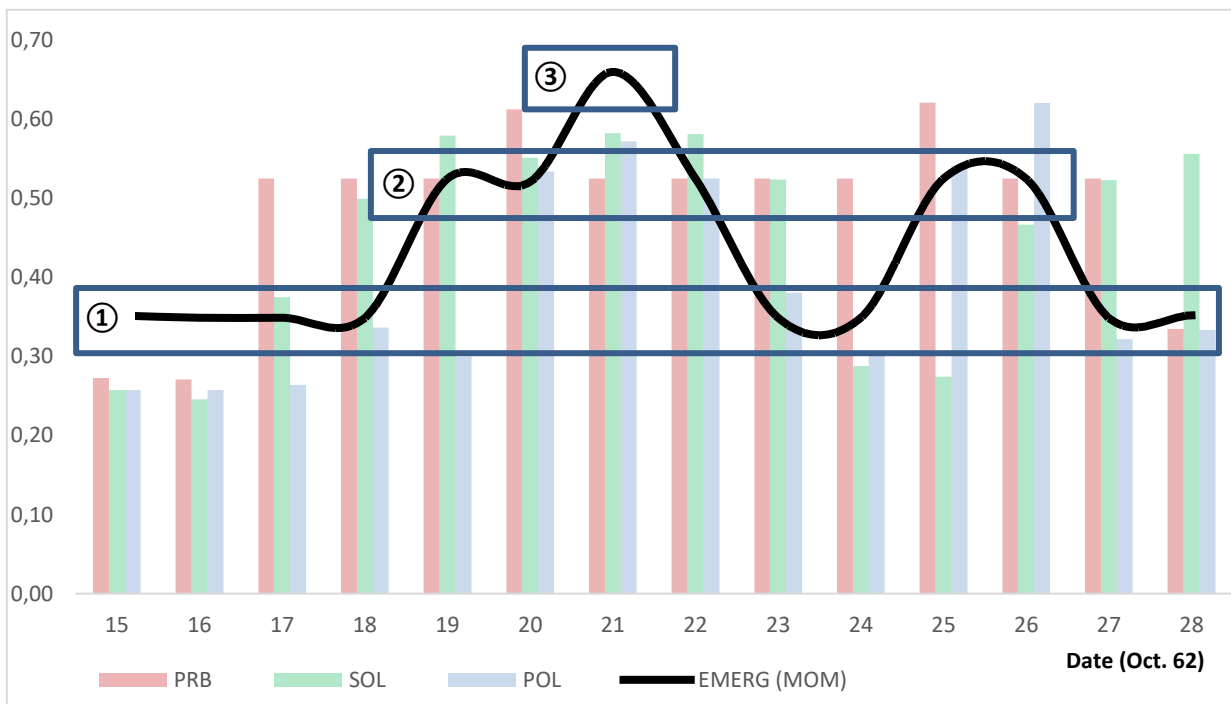


Figure 5.11 Émergence décisionnelle et sous-systèmes

La courbe de l'émergence décisionnelle obtenue par la simulation selon la configuration choisie affiche trois profils décrivant trois niveaux de l'émergence décisionnelle qui

correspondent aux fonctions d'appartenance décrites par les variables floues : moyen, élevé et urgent. Ces profils sont :

- Profil 1 : décrit une émergence décisionnelle moyenne avec des valeurs entre 30 % et 40 %; ce profil caractérise la moitié de la durée de la crise environ.
- Profil 2 : illustre une émergence élevée (entre 40 % et 60 %) correspondant à cinq jours non successifs de la crise.
- Profil 3 : affiche une émergence maximale de toute la durée de la crise qui correspond à l'intervalle que nous avons défini comme urgent et qui concerne la date du 21 octobre 1962; ce profil correspond à une valeur supérieure à 60 %.

Ces profils de l'émergence décisionnelle nous permettent de tirer un premier constat concernant la relation entre les variables du système (Problème, Solution, Politique) et l'émergence décisionnelle. En effet, nous remarquons que le niveau de l'émergence décisionnelle ne suit pas l'état des variables du système qui représentent les trois courants.

Les résultats ne permettent pas d'établir de lien de cause à effet ou de corrélation entre l'état de ces variables et l'émergence décisionnelle. Nous croyons que ce lien, s'il existait, aurait pu être identifié et appréhendé par des méthodes analytiques déjà appliquées. Ce constat général est une première justification de notre démarche de recourir à la simulation de l'émergence décisionnelle avec la méthodologie choisie : le système modélisé se comporte effectivement comme un système complexe et les résultats se reflètent dans ce comportement.

De plus, les résultats obtenus montrent aussi que l'émergence décisionnelle n'affiche aucune valeur faible, bien que cette variable possède quatre fonctions d'appartenance qui représentent quatre intervalles, dont l'intervalle faible. Nous croyons que cet aspect prouve la fiabilité des résultats dans cette étude de cas qui traite d'une crise internationale, car l'émergence décisionnelle dans de pareilles circonstances ne peut avoir une valeur faible.

De la même façon, c'est la nature et la gravité de cette crise qui font en sorte que l'émergence décisionnelle ne peut non plus atteindre des valeurs très élevées, de 75 % ou de 80 % par exemple, malgré l'urgence de la situation. Nous croyons que les circonstances décisionnelles dans un contexte de crise internationale majeure ne peuvent être propices à une démarche décisionnelle aisée, étant donné le nombre de facteurs et d'enjeux qui caractérisent les grandes crises et qui ne peuvent être pris en compte par les décideurs. Cet aspect est mis en évidence par les résultats de la simulation où le niveau de l'émergence décisionnelle ne dépasse pas 66 %, une valeur qui concerne d'ailleurs une seule journée de toute la période de crise, à savoir le 21 octobre 1962.

Ces premières constatations confirment la capacité du modèle PODESIM à générer des résultats cohérents et réalistes dans cette étude de cas.

Dans ce qui suit, nous analysons la situation quotidienne du système et les événements importants; et nous identifions les caractéristiques des entités qui expliquent le niveau de l'émergence décisionnelle.

Le 15 octobre 1962

Dans la matinée de ce premier jour de la crise, les services de renseignement américains confirment la présence d'armes soviétiques à Cuba, après analyse des photos de reconnaissance prises la journée d'avant par les avions américains U-2 (Sorensen, 2009). Le président Kennedy est informé.

La figure 5.11 montre que l'émergence décisionnelle affiche un niveau moyen et les trois variables du système (Problème, Solution, Politique) sont relativement faibles. La variable Problème est même plus proche de l'intervalle faible malgré la découverte des missiles soviétiques à Cuba.

En réalité, les activités militaires soviétiques à Cuba ne représentent pas une surprise pour l'administration américaine qui, dès le début du mois d'octobre, songeait à des préparations en vue d'une opération militaire contre Cuba (Fursenko et Naftali, 2014). Or, la situation et

la nature de la crise ne sont pas encore déterminées avec précision et cette situation est reflétée par l'état du système et par le niveau de l'émergence décisionnelle.

Il est aussi possible que l'administration américaine pense encore que les armes soviétiques en cours d'installation à Cuba sont de nature défensive, tel que proclamé par le pouvoir soviétique. Stern (2005) affirme que le 11 septembre 1962, l'agence de presse soviétique TASS insiste publiquement sur le fait que « all weapons for Cuba were defensive and boasted that Soviet nuclear missiles were so powerful that it was unnecessary to look for sites outside the U.S.S.R. » (p. 20).

Ces précisions traduisent l'état du système dans lequel l'émergence décisionnelle, malgré une valeur moyenne, n'est pas encore significative par rapport à d'autres jours de la crise et que l'environnement décisionnel ne dispose pas encore d'alternatives précises. Ce niveau de l'émergence décisionnelle permet de conclure que le système n'est pas encore en situation prédécisionnelle.

D'ailleurs, l'examen des facteurs du système indique qu'ils sont presque tous faibles ou inexistant, à part le facteur Intensité (du problème) qui possède une valeur élevée. Cette observation confirme aussi que le niveau, moyen, de l'émergence décisionnelle qui représente le comportement global du système est indépendant de l'état individuel des facteurs.

Le 16 octobre 1962

C'est à cette date qu'un comité du Conseil de sécurité nationale est constitué et commence ses discussions et délibérations. Ce comité, une sorte de cellule de crise, est désigné par l'acronyme (ExCom²⁸ ou *Executive Committee*).

²⁸ Pour une liste des membres de l'ExCom et de leurs rôles, voir : Graham Allison et Philip Zelikow (1999). *Essence of Decision. Explaining the Cuban Missile Crisis*. Second edition, p. 326, 327. Longman. Une revue plus complète est fournie par Sheldon M. Stern (2005). *The Week the World Stood Still. Inside the Secret Cuban Missile Crisis*. Stanford University Press, Stanford, California, p. 29-35.

Nos résultats montrent que les variables du système sont relativement faibles, même la variable Problème, car l'administration américaine n'est pas encore en mesure de déterminer avec certitude l'ampleur et l'impact du problème. En effet, l'ExCom n'est toujours pas sûr de la nature de la menace et de ce que les Soviétiques sont en train de construire à Cuba (Stern, 2005). D'ailleurs, le président Kennedy ne comprend toujours pas pourquoi les Soviétiques ont placé des missiles à Cuba. Allison et Zelikow (1999) précisent qu'à cette date, qu'ils considèrent comme premier jour de la crise « At least four separate times [...], Kennedy wondered aloud why the Soviets had done it. "Well," he shrugged, "it's a goddamn mystery to me." » (p. 81). Ce n'est que lors de la réunion de l'ExCom dans l'après-midi du 16 octobre 1962, que le secrétaire Douglas Dillon lance au président Kennedy : « What if they carry a nuclear weapon? » (Stern, 2005, p. 47).

Mais ces développements ne se traduisent pas par un changement de l'environnement décisionnel, car la situation demeure vague et incertaine. D'ailleurs, à cette date, Khrouchtchev informe l'ambassadeur américain Kohler que la présence d'armes soviétiques à Cuba n'est pas significative; et il insiste sur la nature défensive des installations militaires soviétiques à Cuba (White, 1996).

Enfin, bien que les discussions de l'ExCom aient été consacrées à la manière de répondre à l'installation de missiles soviétiques à Cuba, à la fin de la journée, Stern (2005) affirme que « a course of action was still far from clear [...] » (p. 52). Quant à Allison (1971), il soutient que deux propositions majeures ont émergé de ces discussions : une attaque aérienne suivie par une invasion ou un blocus naval, avec le danger d'actions militaires subséquentes. Mais ce ne sont que des propositions en attendant d'identifier la nature exacte de la menace.

Ces clarifications se reflètent dans les résultats obtenus et nous pouvons constater que l'émergence décisionnelle n'a pas progressé et que le système n'est toujours pas en phase prédécisionnelle, car la nature de la menace n'est pas identifiée avec précision et la réponse à apporter n'est pas déterminée.

D'ailleurs, concernant l'incertitude et l'ambiguïté qui entourent les événements à cette date, White (1996) évoque un curieux paradoxe dans la position du président Kennedy. D'un côté,

ce dernier ne croit pas que l'installation de missiles soviétiques à Cuba changerait la balance de puissance entre les deux pays, ni que Khrouchtchev utiliserait ces missiles contre les États-Unis. D'un autre côté, il reste convaincu qu'une réponse militaire au défi soviétique à Cuba est nécessaire. White en conclut que « Perhaps the most plausible answer is that his eagerness for a military response flowed primarily from the need he felt to convey a sense of decisiveness, especially from the standpoint of domestic politics. » (p. 124).

Ces réflexions font croire que le président Kennedy, probablement motivé par des impératifs de politique intérieure, n'est pas pressé de prendre une décision concernant les missiles soviétiques avant d'analyser tous les aspects de la crise et de calculer les avantages et les inconvénients de la décision à prendre. Nous croyons que ces détails se retrouvent aussi dans l'état du système et la faiblesse de l'émergence décisionnelle.

En conclusion, cette date est très semblable à celle de la veille, où l'émergence décisionnelle demeure en-deçà d'un niveau qui engendre des circonstances décisionnelles.

Le 17 octobre 1962

Les résultats obtenus montrent un état du système marqué par un saut de la variable Problème. En effet, les renseignements américains découvrent deux nouvelles installations soviétiques et confirment l'existence de sites de missiles balistiques de moyenne portée. La variable Solution affiche aussi une progression, mais malgré ces progressions, le niveau de l'émergence décisionnelle demeure constant par rapport aux deux jours précédents.

Notre analyse démontre que ces résultats sont corroborés par des événements et ils convergent avec d'autres analyses de cette crise.

Au sein de l'ExCom, aucun consensus n'est encore dégagé quant à la réponse adéquate à apporter. En effet, pendant les premiers jours de la crise, l'analyse et l'évaluation des alternatives ont permis d'établir une liste de six catégories d'action majeures (Allison et Zelikow, 1999). Mais ce progrès partiel dans les délibérations de l'ExCom n'est pas traduit par une progression de l'émergence décisionnelle, ni par une progression de la variable

Politique, qui affiche toujours une valeur faible. Toutefois, ces développements se reflètent dans la variable Solution qui est en hausse. Mais ce n'est vraisemblablement pas la seule raison qui a influencé cette variable.

La suite des délibérations, ce jour-là, amène le président Kennedy à retenir trois alternatives qui lui semblent viables. Ces alternatives sont : une attaque aérienne limitée aux sites des missiles, une attaque générale, et enfin une invasion. Toutefois, il exprime sa préférence pour une attaque aérienne générale tout en préconisant la possibilité de restreindre cette action à une attaque limitée en cas de besoin (White, 1996, p. 119).

Mais ces délibérations ne se traduisent toujours pas par un impact sur l'émergence décisionnelle. D'ailleurs, bien que le niveau de la variable Solution augmente significativement, les facteurs de cette variable affichent une valeur faible, à part le facteur Convenance. Ceci est probablement dû au fait que depuis le 16 octobre 1962, selon White (1996) « JFK continued in the evening ExComm session to endorse the military options [...] [he] showed no interest in avoiding an immediate military confrontation by establishing a blockade around the island [...] » (p. 120). Les propositions non militaires avancées par des membres de l'ExCom ne présentent, aux yeux de Kennedy, aucun intérêt et ne méritent pas d'être prises en considération (White, 1996), du moins jusqu'à la date du 17 octobre 1962.

Rappelons que le Congrès des États-Unis a autorisé le président Kennedy, dès le 3 octobre 1962, à faire le nécessaire pour empêcher l'installation de bases militaires soviétiques à Cuba, même si cela requiert l'usage de la force (White, 1996, p. 140).

Cependant, c'est le secrétaire à la Défense, Robert McNamara, qui préconise le blocus²⁹ comme réponse à la crise et il n'est pas le seul. Selon White (1996), Robert Kennedy « emerged after 16 October as the most vigorous proponent of the blockade and impassioned

²⁹ En droit international, un blocus est un acte de guerre. Le Président Kennedy était soucieux des termes employés pour éviter tout dérapage. Pour cette raison, le terme « quarantaine » a été proposé, notamment pour éviter toute analogie avec le blocus de Berlin. Nous avons choisi d'utiliser le terme blocus car plusieurs auteurs utilisent ce terme dans leurs analyses.

critic of the air strike. » (p. 136). Il pense que l'attaque militaire nuirait à la réputation des États-Unis.

En conclusion, le niveau de l'émergence décisionnelle obtenue par la simulation indique qu'il n'engendre pas encore des circonstances décisionnelles, et ce, malgré une progression significative des variables Problème et Solution.

Le 18 octobre 1962

L'état du système indique une émergence décisionnelle toujours stagnante et de valeur moyenne, avec même une légère baisse. Les résultats montrent que la variable Solution affiche une forte progression et que la variable Politique progresse un peu par rapport aux jours précédents. Pour ce qui est de la variable Problème, son niveau est le même que la veille.

La hausse de la variable Politique semble être due à une légère amélioration du facteur Cohésion. Cet aspect est soulevé par Allison et Zelikow (1999) qui évoquent pour cette date « [...] a near-consensus developed among Kennedy's advisers. » (p. 117). Mais c'est le seul facteur de la variable Politique qui affiche une légère progression selon nos données et qui montre une convergence avec d'autres analyses.

En fait, White (1997) soutient que le matin du 18 octobre 1962, « President Kennedy still believed that a general strike on Cuba was his best option. When his advisers talked about the merits of the blockade in that morning's ExComm meeting, he was skeptical. » (p. 89).

Par contre, selon Stern (2005), c'est seulement tard dans la nuit du 18 octobre 1962 que le président Kennedy affirme qu'un consensus quant à un blocus commence à émerger. Cet auteur affirme d'ailleurs que « JFK recalled, "opinions had obviously switched from the advantages of a first strike [...] to a blockade." » (p. 65). C'est cette affirmation qui se reflète dans la progression de la variable Solution, sans doute entraînée par le seul facteur Faisabilité.

Toutefois, Sorensen (1965) affirme que le choix du blocus n'est pas une décision finale en date du 18 octobre 1962 et c'est encore moins le cas le lendemain matin, alors que Robert

Kennedy continue de plaider pour un consensus en faveur d'un blocus parmi les membres de l'ExCom. White (1996) précise à ce sujet que « From 17 to 21 October, Robert Kennedy's argument had remained constant: an American air strike on Cuba was reprehensible because it would be equivalent to the Japanese assault on Pearl Harbor. » (p. 149). Cet auteur ajoute que « By 18 October, however, the president had withdrawn his backing for the air strike. » (p. 157).

Malgré cette évolution dans la position du président Kennedy, qui semble renforcer la variable Solution en raison d'une certaine convergence de points de vue avec les membres de l'ExCom, nous constatons que l'émergence décisionnelle est toujours stagnante et même légèrement plus faible que les jours précédents, probablement en raison de l'indécision qui continue à marquer l'environnement décisionnel, soulevée plus haut.

En outre, d'autres interrogations surgissent. White (1996) affirme que « In ExComm's meeting on the morning of 18 October, Acheson and his colleagues started to ponder the legal ramifications of the various policy options » (p. 142). C'est le résultat de l'analyse des aspects légaux qui a fortement contribué à renforcer l'option du blocus. Cette option se révèle la solution la plus facile et la plus rapide à mettre en place. Cet aspect se reflète dans notre constat concernant le facteur Faisabilité qui contribue à la progression de la variable Solution.

La conclusion à retenir de la journée du 18 octobre 1962 est que l'émergence décisionnelle ne progresse pas, et ce, en dépit de la forte progression des variables Solution et Politique soulevée plus haut. Cette progression est due à deux facteurs : le facteur Cohésion et le facteur Faisabilité, mais sans aucun impact sur le niveau de l'émergence décisionnelle.

Ces observations démontrent une nouvelle fois que l'émergence décisionnelle manifeste un comportement de système complexe caractérisé par l'absence de lien de cause à effet entre les entités du système et son comportement global. L'accroissement significatif des trois variables du système et de certains de leurs facteurs n'a aucun impact sur l'émergence décisionnelle.

Cette émergence stagne depuis le début de la crise et il n'y a effectivement aucune décision prise jusqu'au 18 octobre 1962, ni même une alternative sérieuse retenue.

Ces conclusions renforcent nos heuristiques décisionnelles (représentées par les règles d'inférence du modèle) et démontrent qu'elles sont adéquates dans cette étude de cas.

Nous pouvons donc conclure que durant les quatre premiers jours de la crise, l'état de l'émergence décisionnelle demeure constant et qu'il n'atteint pas un niveau significatif qui engendre des circonstances décisionnelles. Ce niveau est représenté par le profil 1, qui décrit dans les faits une absence d'émergence décisionnelle concrète, malgré certains progrès de la démarche décisionnelle. Nous pouvons qualifier ce profil d'infradécisionnel.

Le 19 octobre 1962

C'est à cette date que le niveau de l'émergence décisionnelle commence à réellement progresser. Cette émergence a une valeur élevée et affiche un profil 2. Pour ce qui est des variables du système, la variable Problème est au même niveau que les deux jours précédents. Par contre, la variable Solution est en forte progression, se situant à un niveau élevé. Enfin, le variable Politique est en légère baisse.

Selon Stern (2005), le consensus autour du blocus, établi tard dans la nuit du 18 octobre 1962, semble préparer le terrain pour la journée du lendemain et fournir au président Kennedy une plus grande assurance dans la poursuite des réunions et le processus de prise de décision.

Cet auteur affirme d'ailleurs que « Kennedy ignored [le général Maxwell] Taylor and began to speak immediately in a clear effort to demonstrate that the commander-in-chief was in charge. » (p. 67). Mais cet événement ne semble pas se traduire par une progression de la variable Politique, mais plutôt par un léger recul, que nous pouvons relier à la faiblesse du facteur Cohésion.

En réalité, le président Kennedy, en campagne électorale, doit démontrer sa fermeté dans la gestion de cette crise. Allison et Zelikow (1999) affirment que « The Republicans Senatorial

and Congressional Campaign Committee announced that Cuba would be the “dominant issue of the 1962 campaign.” » (p. 330). Mais qu’en est-il de la solution envisagée ?

Stern (2005) précise que le président Kennedy, avant de partir en Ohio et en Illinois pour la campagne électorale, presse Robert Kennedy et Sorensen de forger un consensus autour du blocus pendant son absence (p. 71). Il ajoute aussi que « McNamara endorsed planning for air strikes but continued to support the blockade as a measured first step. » (p. 71).

Ces détails indiquent que le président Kennedy a déjà fait le choix du blocus, tout en continuant de ménager certains membres de l’ExCom qui ont une attitude plutôt belliqueuse. May et Zelikow (2002) soutiennent d’ailleurs que « [...] in his October 19 meeting with the Joint Chiefs of Staff in which, alone, he takes on the combined weight of their arguments and has apparently gone far toward making up his mind. » (p. 440). Quant à White (1996), il affirme que c’est à cette date du 19 octobre 1962 qu’un consensus concernant le blocus émerge grâce aux efforts de Robert Kennedy et McNamara (p. 173).

Ces affirmations nous permettent de conclure que l’option du blocus retenue par le président Kennedy en tant que solution à la crise est l’élément le plus important qui sous-tend l’émergence décisionnelle. Cet élément touche aussi bien à la variable Politique qu’à la variable Solution.

L’évolution de la situation montre que le président Kennedy joue un rôle central et qu’il s’accorde une plus grande latitude grâce à son statut. Il privilégie l’option non militaire, contrairement à plusieurs membres de l’ExCom. Stern (2005) précise d’ailleurs que « If the ExComm decisions had been made by majority vote then war, very likely nuclear war, would almost certainly have been the result » (p. 5).

Cet aspect met en évidence une des caractéristiques de la politique américaine où la position du président est très importante, même si elle est minoritaire. Ce sont ces détails qui semblent exprimer la progression des facteurs Latitude et Climat, mais qui ne se traduisent pas pour autant par une progression de la variable Politique.

Pour ce qui est de la variable Solution, elle est en forte progression en raison du choix préliminaire fait par le président Kennedy, selon les références citées plus haut, et cette progression est entraînée par le facteur Faisabilité qui constitue un levier principal de l'émergence décisionnelle et, dans une moindre mesure, le facteur Acceptabilité.

Ceci nous autorise à conclure que les leviers qui marquent de leur empreinte la progression de l'émergence décisionnelle sont, dans l'ordre, le facteur Faisabilité, suivi des facteurs Acceptabilité, Latitude et Climat. Cette émergence a un niveau élevé et elle illustre une situation prédécisionnelle que nous avons représentée par le profil 2.

Le 20 octobre 1962

À cette date, les résultats indiquent un niveau de l'émergence semblable à la journée d'avant, mais avec une légère baisse. Pourtant, les variables affichent des profils différents par rapport à la veille. Les variables Problème et Politique sont en progression. Par contre, la variable Solution subit une légère baisse.

Nous retrouvons une partie de l'explication dans les affirmations de Stern (2005) qui soutient que lors de sa rencontre avec l'ExComm le 20 octobre 1962, le président Kennedy était en train de reculer sur l'option du blocus. Il précise aussi que « The defense chief acknowledged that the blockade might create “political trouble” at home, [...] and a blockade was less likely to provoke a Soviet response “leading to general war.” » (p. 72). De son côté, Robert Kennedy soutient la combinaison de l'option militaire et du blocus (Stern, 2005). Cependant, les membres de l'ExComm demeurent partagés sur l'option à adopter.

Nous pouvons remarquer que malgré les hésitations, c'est l'option du blocus qui demeure l'alternative privilégiée par plusieurs et c'est probablement ce qui explique aussi la progression de la variable Politique, visiblement renforcée par le facteur Cohésion qui est en progression.

En effet, Stern (2005) affirme que « Kennedy authorized the blockade and suggested that “we inform the Turks and the Italians that they should not fire the strategic missiles they have

even if attacked.” » (p. 73). Il ajoute que le président Kennedy était toutefois d'accord pour continuer les préparations en vue d'une invasion en précisant qu'après la réunion de l'ExCom, « JFK chatted on the second-floor balcony with RFK and Sorensen. “We are very, very close to war,” he conceded bleakly » (p. 74). Cette attitude semble se refléter dans la progression de la variable Politique, car le Président a fait le choix du blocus et nous pouvons relier cette progression au facteur Latitude en progression à un niveau élevé. Mais ce choix reste hypothétique. Il faut en décider et le définir.

D'ailleurs, Allison et Zelikow (1999) affirment que, ce jour-là, deux options différentes du blocus sont présentées au président Kennedy et ils précisent que « The blockade was only chosen, however, after the option was sharpened into the blockade and ultimatum approach on October 20-21. » (p. 120). Ils considèrent toutefois que la date du 20 octobre 1962 est « the key date of the decision to go with the blockade » (p. 117).

Malgré les affirmations citées, les résultats indiquent une légère baisse de la variable Solution. C'est sans doute en raison de désaccords persistants entre les membres de l'ExCom, car selon Stern (2005) :

Robert Fitzgerald Kennedy shifted ground again, arguing that a combination of a blockade and air strikes “was very attractive to him.” [...] Suddenly, most remaining participants took sides: Rusk endorsed the blockade; McCone, Dillon, and Gilpatric essentially agreed. McNamara warned that air strikes would kill thousands of Russians and Cubans and “the U.S. would lose control of the situation.” General Taylor still dissented (p. 73).

Tous ces détails laissent penser que malgré les progrès accomplis lors des délibérations, l'administration américaine demeure encore hésitante quant à la décision finale à prendre.

Ces désaccords au sein de l'ExCom se reflètent d'ailleurs dans le facteur Climat, en baisse par rapport au jour précédent, mais sans impact négatif sur la variable Politique qui est en forte progression.

Un autre élément qui peut expliquer la progression de la variable Politique est le rôle joué par l'ambassadeur américain aux Nations Unies, Adlai Stevenson, qui élabore un mémorandum à l'attention de Kennedy et de l'ExCom. Selon White (1996). Dans ce mémorandum,

he described a "Political Program" to be announced by the president and developed by himself in the UN Security Council at the same time as the imposition of the blockade. Such an approach would convince the international community, which might otherwise view the quarantine as needlessly provocative, that the United States was intent on reaching a peaceful settlement (p. 174).

Stevenson appelle à un dialogue soviéto-américain pour négocier une solution permanente au problème et à une résolution du Conseil de sécurité pour une mission d'observateurs à Cuba, en Italie et en Turquie. Il appelle aussi, selon White (1996), à un retrait simultané des missiles et du personnel militaire soviétique à Cuba et des bases américaines de Guantánamo, de Turquie et d'Italie. Cet auteur qui précise que « His arguments on the need to blockade Cuba and on the utility of working through international organisations elicited general agreement from ExComm officials » (p. 175).

Ces éléments laissent croire que les arguments de Stevenson ont été convaincants et ont renforcé la variable Politique, une progression que nous pouvons relier au facteur Cohésion qui montre une progression.

Cependant, les propositions de Stevenson concernant les concessions américaines sont l'objet de fortes critiques de la part de ses collègues, plutôt furieux à l'idée de faire autant de concessions aux Soviétiques. Même le président Kennedy « sharply rejected the thought of surrendering our [Cuban] base. [...] He felt that such action would convey to the world that we had been frightened into abandoning our position. » (White, 1996, p. 175).

Nous croyons que c'est cet élément qui a affaibli la variable Solution, entraînée par la faiblesse et le recul du facteur Acceptabilité.

White (1996) ajoute aussi que « [Stevenson] was able to convince neither Kennedy nor any other officials of the need for a quick diplomatic solution to the crisis before it escalated into military conflict³⁰ » (p. 175). Plusieurs parmi ceux qui auraient pu le soutenir ce jour-là sont absents et « Stevenson had to make his case in ExComm alone, and, consequently, his arguments did not acquire the sort of legitimacy they would have enjoyed had they been embraced by others. » (p. 176).

Ceci affaiblit la position de Stevenson et a semé le doute quant à sa capacité de représenter adéquatement son pays auprès de l'Organisation des Nations Unies pendant cette période cruciale, selon White (1996), qui ajoute aussi que Robert Kennedy a même confié à Schlesinger qui accompagnait Stevenson au siège des Nations Unies « We're counting on you to watch things in New York, [...] That fellow is ready to give everything away » (p. 176).

Tous ces éléments semblent retarder encore la prise de décision officielle, malgré le niveau élevé de l'émergence décisionnelle.

Pour finir avec cette journée très mouvementée, Sorensen (1969) affirme que ce n'est qu'en fin de journée que Kennedy opte sérieusement pour le blocus et qu'il suggère, selon Stern (2005), d'informer l'Italie et la Turquie et de leur demander de ne pas riposter en cas d'agression soviétique (p. 73). Néanmoins, il continue de soutenir les préparations en vue d'une invasion éventuelle de Cuba.

Hormis les facteurs de la variable Politique qui sont restés élevés depuis le 17 octobre 1962, nous pouvons conclure que les leviers de l'émergence décisionnelle élevée du 20 octobre sont les facteurs suivants : Faisabilité, Convenance et Latitude. Cette émergence affiche un profil 2 qualifié de prédécisionnel.

Le 21 octobre 1962

C'est à cette date que l'émergence décisionnelle est à son maximum, avec un niveau que nous avons désigné comme urgent.

L'état du système indique une baisse de la variable Problème et une hausse des variables Solution et Politique. Cette situation démontre déjà qu'une émergence maximale ne requiert pas nécessairement des valeurs maximales des trois variables du système et elle met en évidence, une fois de plus, le comportement complexe du système dans lequel il n'y a pas de liens de cause à effet ni de corrélations entre entités.

Par ailleurs, il y a peu de changements qui touchent les facteurs de toutes les variables. À part le facteur Acceptabilité et le facteur Climat qui passent tous les deux du niveau faible à moyen, tous les autres facteurs demeurent constants par rapport au jour d'avant. Cette observation renforce davantage l'absence de liens ou de corrélations que nous soulevons. Comment le peu de changement, qui touche à peine deux des facteurs au niveau micro du système, fournit-il comme résultat un niveau d'émergence maximal ?

La réponse paradigmatique réside dans la dynamique évolutive de notre système complexe, où un petit changement au niveau micro est susceptible d'avoir un impact significatif au niveau macro. Cet impact ne peut être prédit, ni présumé, et il demeure tributaire de la dynamique globale de tout le système. Cette dynamique dépend de toutes les entités à divers degrés.

Pour ce qui est des résultats obtenus, ils démontrent que c'est à cette date que la décision cruciale pouvait survenir et ils sont corroborés par certains événements. En effet, Stern (2005) affirme que dans l'après-midi du samedi 21 octobre 1962, lors de la réunion de l'ExCom dans le bureau ovale, « The deliberations had entered a new phase. The quarantine had been chosen [...] Rusk suggested that it would be useful to call the blockade a "quarantine," because "it avoids comparison with the Berlin blockade." » (p. 75).

De leur côté, May et Zelikow (1997) apportent plus de détails quant à ce choix. Ils affirment que :

The blockade was only chosen, however, after the option was sharpened into the blockade and ultimatum approach on October 20-21 [...] Kennedy had started leaning toward the blockade option as early as October 18, but on October 22 he explained to his National Security Council, "from the

beginning, the idea of a quick strike was very tempting and I really didn't give up on that until yesterday morning [...] (p. 120).

D'ailleurs, le président Kennedy s'apprête à annoncer à la nation, le lendemain, la découverte des missiles et son intention d'imposer un blocus qui entrera en vigueur le 24 octobre 1962. May et Zelikow (1997) précisent aussi que l'administration américaine a choisi le jour suivant pour informer officiellement ses alliés, les membres du Congrès et les ambassadeurs de pays amis et neutres. Enfin, selon Stern (2005), c'est aussi ce jour-là que « The President also sent personal representatives to brief the leaders of Britain, France, and West Germany » (p. 76).

Toutes ces précisions confirment que la prise de décision a eu lieu le 21 octobre 1962 et elle correspond à la valeur maximale de l'émergence décisionnelle obtenue par la simulation. Le fait que les résultats concordent avec les faits et les événements de cette date renforce le modèle PODESIM et justifie aussi le choix du type de fonctions d'appartenance et de la méthode de défuzzification. De plus, ce constat contribue à la validation des heuristiques décisionnelles que nous avons définies et qui sont représentées par les règles d'inférence floue.

Mais, malgré ce résultat concluant, certains éléments demeurent sans explication puisque les facteurs du système n'ont pas beaucoup changé par rapport à la journée d'avant. Nous ne pouvons imputer le résultat obtenu aux deux seuls facteurs qui ont progressé par rapport au jour d'avant. Ces deux facteurs, à eux seuls, ne peuvent constituer les leviers de l'émergence décisionnelle. Nous devons donc prendre en compte d'autres aspects afin de tirer des conclusions justifiées. L'examen des variables du système pourrait nous guider vers l'identification des leviers de cette émergence.

Les résultats montrent que la variable Problème subit une baisse, bien que les facteurs de cette variable soient restés constants selon les données. L'explication pourrait résider dans l'évolution de cette variable au fil du temps, due à sa nature complexe, mais cette évolution ne peut être expliquée à ce stade. Nous pouvons juste rappeler que le comportement global de cette variable ne peut être déduit de l'état individuel des entités qui le composent.

Pour ce qui est de la variable Solution, elle affiche une hausse par rapport à la date antérieure. Cette hausse est manifestement due à la légère progression du facteur Acceptabilité.

C'est aussi le cas de la variable Politique qui affiche une hausse due à une légère progression du facteur Climat. Il n'est pas exclu qu'une légère modification d'une seule entité au niveau micro ait un impact significatif sur le comportement global d'un système au niveau macro. C'est une des caractéristiques de tout système complexe et c'est certainement le cas des variables qui constituent en réalité des sous-systèmes.

Mais ces clarifications ne nous autorisent pas pour autant à déduire que le facteur Acceptabilité et le facteur Climat constituent, à eux seuls, des leviers de l'émergence décisionnelle.

Nous pouvons donc conclure que l'émergence décisionnelle est due à une conjonction de plusieurs facteurs qui ne peut être déterminée avec précision. Mais, par rapport au jour d'avant, ce sont les facteurs Acceptabilité et Climat qui ont eu un impact certain sur la progression des variables Solution et Politique et par conséquent sur l'évolution du système qui a engendré ce niveau de l'émergence décisionnelle. Cette émergence affiche un profil 3 qualifié de décisionnel, car il correspond à des circonstances décisionnelles propices à une prise de décision.

Le 22 octobre 1962

Les résultats montrent une émergence décisionnelle en nette baisse, atteignant même un niveau inférieur à celui du 20 octobre 1962. Nous pouvons déduire que cette baisse significative est due au fait que la décision principale est déjà prise et sur le point d'être publiquement annoncée, mais que les événements et la dynamique de l'environnement décisionnel sont encore en situation d'engendrer de nouvelles circonstances décisionnelles.

L'état du système indique que les variables Solution et Problème ne changent pas par rapport à la veille, mais que la variable Politique est en légère baisse.

Cette date représente un jour frénétique pour Kennedy (White, 1996). Le président s'apprête à annoncer, dans son discours à la nation, la découverte de missiles soviétiques à Cuba.

Deux heures avant son discours à la nation, le président Kennedy reçoit une délégation spéciale de membres du Congrès et quelques sénateurs, car il cherche un soutien bipartisan à sa décision (Fursenko et Naftali, 2014). La prudence de Kennedy dans la gestion de la crise et son refus de déclarer une guerre contre Cuba et les Soviétiques agace le sénateur démocrate Richard Russell qui, lui, prône la guerre, ce qui désoriente Kennedy et son secrétaire à la Défense Robert McNamara, selon Fursenko et Naftali (2014)³⁰. S'agit-il d'un événement qui a contribué à la baisse de la variable Politique ? Il serait tentant de le penser, mais deux des facteurs de cette variable sont plutôt en hausse. Les facteurs Climat et Cohésion progressent d'un niveau moyen à un niveau élevé, mais avec un impact négatif sur la variable Politique. Mais il y a aussi d'autres événements dignes d'intérêt.

Toujours avant son discours à la nation, Kennedy insiste auprès des membres de l'ExCom sur l'importance de rester unis et il leur demande « Everyone should sing one song. » (White, 1996, p. 185). Malgré cette attitude de Kennedy pour rassembler les membres de l'ExCom autour d'un objectif commun, la variable Politique subit une baisse.

Selon Sorensen (1969), la décision de Kennedy d'opter pour un blocus et son rejet de l'option militaire ne plaisent pas à tous les membres de l'ExCom, dont certains préfèrent en découdre avec les Soviétiques. Cet auteur affirme par exemple que « [...] the Joint Chiefs of Staff had been dangerously inflexible in their insistence on an all-out military attack as the only course the Soviets would understand [...] » (p. 192). Ce détail pourrait expliquer en partie la baisse de la variable Politique, surtout que le président est amené à constamment justifier ses choix. White (1996), par exemple, affirme que le président Kennedy, lors de ses conversations avec les membres de l'ExCom, précise que « the danger that a failure on his part to respond would damage the United States position throughout Latin America because it would then appear

³⁰ Le Sénateur Russel était une figure en vue du parti. Ex-gouverneur de la Géorgie, le président Johnson le nomma à la présidence pro tempore du Sénat (1969-1971).

as though “the Soviets were increasing their world position while ours was decreasing.” » p. 185).

Certains autres éléments pourraient nous aider à élucider cette situation.

En réalité, l’administration américaine n’était pas sûre de la réaction des Soviétiques quant au blocus. Selon Stern (2005), le président Kennedy déclare aux membres de l’ExCom dans l’après-midi du 22 octobre 1962 « Khrushchev will *not* take this without a response, maybe in Berlin or maybe here [...] » (p. 80).

C’est aussi à cette date que la crise s’internationalise et met le monde devant cette situation explosive. Cela pourrait expliquer pourquoi l’émergence décisionnelle demeure encore à un niveau élevé, affichant un profil 2, prédécisionnel. D’ailleurs, Sorensen (1969) affirme que Kennedy « refused to issue any ultimatum, to close any doors, or to insist upon any deadlines, noting only that continued work on the missile sites would “justify” (not necessarily insure) further U.S. action. » (p. 189). En même temps, à cette date, le président Kennedy a sollicité publiquement une réunion immédiate de l’Organisation des États américains (OÉA) et une rencontre urgente du Conseil de sécurité des Nations Unies.

Sauf que l’administration américaine ne peut encore savoir quelle sera la réaction internationale et surtout celle du pouvoir soviétique. C’est sans doute pour cette raison que le président Kennedy demande aux membres de l’ExCom de réfléchir et de décider de la suite des événements, une fois le blocus mis en place. Selon White (1996), Kennedy demande notamment « If the missile development in Cuba continues [after the establishment of the quarantine], what is our next course of action? » (p. 186). Cependant, selon Stern (2005), Kennedy a aussi clairement dit « “we can’t invade Cuba,” because it would take days to assemble the necessary forces. » (p. 87).

Pour conclure, nous pouvons affirmer qu’à l’instar de la journée du 21 octobre 1962, c’est l’évolution du système dans le temps et une certaine convergence de plusieurs facteurs appartenant aux trois variables qui ont déterminé le niveau de l’émergence décisionnelle. Nous pouvons retenir que les facteurs Climat et Cohésion ont enregistré une progression et

le facteur Convenance une baisse. Mais ces changements ne peuvent, à eux seuls, expliquer l'évolution du système et le niveau de l'émergence décisionnelle.

Nous en déduisons que les différents événements laissent croire qu'après la prise de décision le 21 octobre 1962, la situation au sein de l'ExCom et sur la scène internationale a créé de nouvelles conditions qui semblent faire entrer le système, qui représente l'environnement décisionnel, dans une phase différente.

Dans cette phase, un nouveau contexte et un état d'esprit différents semblent en effet être mis en place, sans que nous puissions circonscrire les nouveaux contours de cet environnement décisionnel. Il s'agit d'une situation qui dépasse désormais le seul cadre de l'administration américaine concernée par cette étude de cas. Nous serions tentés de considérer certains facteurs comme des leviers de l'émergence décisionnelle, ce jour-là, mais leur détermination est difficile et risquée, et cet aspect représente une limite de notre modèle.

Le 23 octobre 1962

Cette date correspond à une chute importante de l'émergence décisionnelle ainsi qu'une baisse de la variable Solution et surtout de la variable Politique.

Pourtant, c'est à cette date que l'Organisation des États américains (OÉA), dont Cuba ne fait pas partie, se réunit et approuve les mesures prises par le gouvernement américain. Le Conseil de cette Organisation adopte une résolution, fondée sur les articles 6 et 8 du traité de l'OÉA, qui appuie les décisions de l'administration américaine et exige le démantèlement et le retrait de missiles et autres armes de Cuba.

Mais malgré une progression de certains facteurs, tels que le facteur Convenance et le facteur Acceptabilité, cette progression se traduit plutôt par une légère baisse de la variable Solution, mais aussi de l'émergence décisionnelle.

Cette situation pourrait peut-être s'expliquer par le fait que le ministre soviétique de la défense, Rodion Malinovsky, annonce, ce jour-là, qu'une décision a été prise pour renforcer la préparation et la vigilance des troupes soviétiques. De plus, le commandant en chef du

Pacte de Varsovie, le maréchal Andrei A. Grechko, appelle à une réunion d'officiers de plusieurs pays d'Europe de l'Est. White (1996) affirme que « Grechko instructed them to heighten the military readiness of their forces » (p. 190). Entre-temps, plusieurs autres navires soviétiques se dirigent vers Cuba. White (1996) précise que l'attaché militaire soviétique à Washington a informé les journalistes, le soir du 23 octobre 1962, que ces navires ont reçu l'ordre d'ignorer le blocus et de continuer leur route vers Cuba. Ces éléments ont certainement affaibli la variable Solution, puisque la suite des événements laisse croire que la réponse choisie par l'administration américaine n'est peut-être pas la meilleure, car elle semble susciter une escalade.

Par ailleurs, Khrouchtchev, dans une lettre à Kennedy en date du 23 octobre 1962, ne montre aucun signe d'infléchissement. White (1996) affirme que :

[he] told Kennedy that the establishment of a blockade was “aggressive” and a “threat to peace.” [...] Offering no concessions, Khrushchev instead called on Kennedy to revoke his recent decisions, which, he indicated, could have "catastrophic consequences for world peace. (p. 190, 191).

Ces détails sont susceptibles d'expliquer la forte chute de la variable Politique, entraînée par une forte baisse du facteur Climat et du facteur Latitude, ce qui a eu pour conséquence une forte chute de l'émergence décisionnelle. Seul le facteur Cohésion reste à son niveau élevé.

En conclusion, les événements de cette journée-là, dont certains sont graves, et l'internationalisation de la crise semblent avoir grandement perturbé l'environnement décisionnel et ébranlé l'émergence décisionnelle. C'est une situation qui semble plutôt confuse et qui ne facilite pas l'émergence de circonstances décisionnelles. Nous pouvons aisément déduire que c'est à cause de cette situation confuse que l'émergence décisionnelle baisse et affiche désormais un profil 1 correspondant à une phase infradécisionnelle.

Il y a lieu de conclure aussi que l'émergence décisionnelle n'est plus tributaire du seul environnement national et de l'ExCom, mais qu'elle dépend désormais de plusieurs nouveaux facteurs, dont le rôle des organisations internationales sollicitées dans cette crise,

mais aussi de l'adversaire soviétique. Cette nouvelle situation réduit la marge de manœuvre de l'administration américaine et elle est reflétée par le recul du facteur Latitude.

D'ailleurs, c'est à cette date que la première réunion du Conseil de sécurité concernant la crise a eu lieu. Une réunion qui a permis à l'ambassadeur américain, Adlai Stevenson, de défendre la position des États-Unis. Il a été suivi par la réponse de l'ambassadeur soviétique aux Nations Unies ainsi que par le représentant cubain. Dans ces conditions, il est tout à fait logique que l'émergence décisionnelle se trouve à un stade infradécisionnel.

Le 24 octobre 1962

L'émergence décisionnelle est toujours au même niveau après sa chute du jour antérieur et elle affiche un profil 1, alors que la variable Solution subit une chute drastique et que la variable Politique est aussi en baisse.

L'état des facteurs est toutefois cohérent avec l'évolution de ces variables puisqu'ils subissent tous une baisse et plusieurs n'ont désormais qu'une valeur faible. Mais cette évolution parallèle ne nous autorise pas à déduire un lien de cause à effet entre les facteurs et les variables puisque nous avons démontré à plusieurs reprises que ce lien ne peut pas exister.

Comme pour les deux jours précédents, la variable Problème demeure élevée, probablement à cause du fait que « Khrushchev [also] showed no signs of accommodation in his 24 October message to Kennedy, [...]. He argued that Soviet-Cuban relations were none of America's business, charged Kennedy with trying to intimidate Moscow into submission, and claimed that the blockade was illegal. » (White, 1996, p. 200). Ces propos sont appuyés par Allison et Zelikow (1999) qui affirment aussi que « Khrushchev's message to Kennedy on October 24 was defiant. In that letter Khrushchev said he would tell Soviet Captains to ignore the American quarantine » (p. 124).

Dans sa lettre, Khrouchtchev nie aussi le droit et l'autorité de l'OÉA à adopter une résolution qui permet aux États-Unis d'appliquer le blocus. Il exprime son refus de la résolution et

considère qu'elle constitue une violation de la liberté de navigation dans les eaux territoriales et une agression qui pousse l'humanité vers la guerre nucléaire.

Sur le terrain, de nouvelles photos prises par les avions espions américains indiquent que les travaux continuent sans relâche sur les sites de missiles et McNamara informe l'ExCom qu'un sous-marin soviétique s'approche de la ligne de démarcation du blocus (Preston, 2001, p. 127).

En réalité, l'administration américaine n'est plus certaine de la manière de gérer la mise en place du blocus si les navires soviétiques refusent de le respecter. Mais, en même temps, le président Kennedy veut à tout prix éviter un affrontement militaire avec les navires qui ne respecteraient pas le blocus, malgré l'opposition de certains membres de l'ExCom. McNamara, de son côté, déclare qu'il faut sans doute se préparer à un affrontement (Preston, 2001).

Ce sont ces éléments qui expliquent l'incertitude et l'instabilité de la situation, devenue en partie incontrôlable, ainsi que son influence sur les variables. Ces aspects sont la conséquence de la baisse des facteurs de la variable Politique.

Concernant cette baisse de la variable Politique, il est important de mentionner que U Thant, le Secrétaire général des Nations Unies, a envoyé ce jour-là aux dirigeants américain et soviétique une lettre suggérant que « the United States suspend the quarantine and the Soviet Union cease weapons shipments to Cuba for two or three weeks in order to provide a block of time for a settlement to be reached » (White, 1996, p. 206).

La suggestion du Secrétaire U Thant a été accueillie avec enthousiasme par Khrouchtchev, mais Kennedy a proposé que l'ambassadeur Stevenson discute davantage de cette proposition avec le Secrétaire général de l'ONU.

Ces éléments se traduisent d'ailleurs par la forte baisse des variables Solution et Politique, ce qui maintient l'émergence décisionnelle à son niveau décrit par le profil 1, qui correspond à une phase infradécisionnelle pendant laquelle les leviers de l'émergence ne sont pas suffisamment importants pour engendrer des circonstances décisionnelles. D'ailleurs,

l'administration américaine, nous l'avons mentionné, ne possède plus la même marge de manœuvre depuis l'internationalisation de la crise et elle doit tenir compte de plusieurs facteurs externes.

Le 25 octobre 1962

Cette date marque un saut de l'émergence décisionnelle vers le niveau élevé, mais aussi une progression des variables Problème et Politique et seulement une très légère baisse de la variable Solution.

Ce jour-là, White (1996) affirme que « U Thant dashed off new messages to the American and Soviet leaders on 25 October. He asked Khrushchev to keep his ships away from the quarantine line for “a limited time only,” and urged Kennedy to “do everything possible to avoid direct confrontation with Soviet ships in the next few days” » (p. 207). C'est cet élément qui semble renforcer la variable Politique, entraînée notamment par le facteur Latitude qui progresse à un niveau élevé après une chute drastique la veille. D'ailleurs, Kennedy fait savoir le même jour son acceptation de la proposition d'U Thant, pourvu que Khrouchtchev l'accepte aussi. Cette situation semble soutenir la progression de l'émergence décisionnelle qui affiche désormais un profil 2 qualifié de prédécisionnel.

Pour ce qui est de la variable Solution, la légère baisse peut s'expliquer par le fait que « Kennedy continued to avoid any action that might provoke a hostile Soviet response » (White, 1996, p. 200). Mais, selon cet auteur, Kennedy finit par reconnaître que « the pressure from the blockade might not be sufficient to persuade Khrushchev to back down » (p. 201).

En réalité, aussi bien Kennedy que plusieurs membres de l'ExCom pensaient que le pouvoir soviétique allait reculer, en contre-partie de la promesse de retrait des missiles américains de Turquie, mais les événements viennent de montrer le contraire. Cette situation ramène l'administration américaine en quelque sorte à la case de départ, et l'ExCom doit réfléchir à de nouvelles réponses.

Le président Kennedy envisage désormais d'autres mesures contre le pouvoir soviétique; ce faisant, il s'aligne sur la position de certains membres de l'ExCom qui préconisaient, dès le début de la crise, une réaction musclée et refusaient toute concession aux Soviétiques.

C'est probablement cette attitude qui explique en partie la progression de la variable Politique entraînée cette fois par le facteur Cohésion, qui passe d'un niveau faible à un niveau moyen.

Kennedy finit par adopter une ligne dure en ne cédant rien aux Soviétiques. White (1996) affirme que « In his message to Khrushchev on 25 October, Kennedy, [...], simply defended his position, condemned his adversary's, and introduced no terms of settlement to the crisis » (p. 201). Toutefois, aucune nouvelle solution ne semble encore surgir en date du 25 octobre 1962 pour apaiser la crise. Cet aspect est reflété par la faiblesse de la variable Solution selon nos résultats.

Mais l'absence de solution n'est pas le seul facteur, car le problème s'amplifie ce jour-là et nous pouvons constater que cette variable est en progression. En effet, le navire soviétique Bucarest, transportant du pétrole vers Cuba, est intercepté par la marine américaine, mais aussitôt relâché car ne transportant pas d'armes. Mais cet acte démontre que les États-Unis sont prêts à utiliser la force pour faire respecter le blocus. De plus, en citant McNamara, May et Zelikow (2002) affirment que « Referring to the Soviet missiles, he comments on October 25, "I never have thought we'd get them out of Cuba without the application of substantial force." » (p. 442).

Ces auteurs soutiennent aussi que « The turning point of the crisis may have been October 25, the day that Khrushchev decided that he would withdraw the missiles on terms that would abandon his most important original goals for the deployment » (p. 443).

Pour cette date, il est difficile de tirer des conclusions fiables concernant les leviers de l'émergence décisionnelle. L'environnement décisionnel demeure ambigu et tributaire de facteurs internes et externes. Toutefois, nous pouvons présumer que les facteurs Convenance, Cohésion et Latitude ont largement contribué à l'émergence décisionnelle, du moins en ce qui concerne l'administration américaine.

Le 26 octobre 1962

L'émergence décisionnelle demeure élevée, identique à la journée d'avant, affichant un profil 2 prédécisionnel. Mais les résultats indiquent une forte progression des variables Politique et Solution, et une baisse de la variable Problème.

Analysons ce qui s'est passé à cette date. Durant les réunions de l'ExComm en date du 26 octobre 1962, White (1996) affirme que « JFK continued to advocate the application of pressure on the Soviets while avoiding action that might evoke a hostile response from Khrushchev » (p. 207). D'ailleurs, il donne l'ordre d'arrêter et d'inspecter le Marucla, premier navire intercepté depuis le début du blocus, afin de démontrer la détermination des États-Unis de renforcer la « mise en quarantaine ». Or, Khrouchtchev ordonne de ne pas répliquer (White, 1996). C'est cette réserve de la part de Khrouchtchev qui semble expliquer en partie la baisse de la variable Problème.

Mais l'incident du Marucla a eu des répercussions au sein de l'ExCom, car lors des discussions, il a été conclu que le blocus ne serait pas suffisant pour persuader les Soviétiques de retirer les missiles de Cuba. Or, les avis divergent quant aux actions à mener afin d'atteindre l'objectif fixé par l'administration américaine. Le débat concerne surtout une action militaire contre les missiles et un éventuel embargo, d'autant plus que les travaux sur les bases soviétiques continuent sans interruption selon les renseignements obtenus le même jour.

À la fin des discussions, White (1996) affirme qu'il a été décidé que « if the negotiations at the UN did not provide a quick settlement, "our choice would be to expand the blockade or remove the missiles by air attack." » (p. 208). Cette affirmation semble confirmer nos résultats. En effet, le niveau élevé de l'émergence décisionnelle pourrait se comprendre par cette prise de décision quant à la suite des événements.

Il y a lieu d'affirmer aussi que c'est cette attitude qui explique la forte augmentation de la variable Solution et de la variable Politique. La progression de cette dernière pourrait

s'expliquer en partie par la hausse du facteur Climat et un facteur Latitude encore élevé. Ces éléments se retrouvent aussi dans les affirmations de White ci-dessus.

Pour ce qui est de la baisse de la variable Problème, elle a lieu alors que les facteurs de cette variable sont tous au niveau élevé, le facteur Étendue étant même en progression. Un autre événement pourrait contribuer à expliquer cette baisse. C'est à cette date que le pouvoir soviétique lâche prise et propose une solution pour mettre fin à la crise. Khrouchtchev prend la décision de démanteler les bases de lancement à Cuba, contre une promesse américaine de ne pas envahir Cuba. Garthoff (cité dans Nathan, 1992) précise que « Khrushchev continued for a few days to believe that the United States might accept at least the partial Soviet missile deployment already in Cuba. But by October 26, it had become clear that the United States was determined » (p. 47).

Le soir même, Khrouchtchev adresse un message à Kennedy dans lequel il propose le retrait réciproque des missiles soviétiques de Cuba et celui des missiles américains de Turquie, et demande un engagement de la part des États-Unis de ne pas envahir Cuba.

Nous croyons que cet événement a eu une influence sur toutes les variables du système et il se traduit effectivement dans les résultats de la simulation. C'est surtout la variable Solution qui enregistre une hausse significative, malgré le niveau moyen de ses facteurs influents, et même une baisse du facteur Convenance.

Enfin, le dernier élément qui explique l'état de l'émergence décisionnelle, qui affiche un profil 2, est sans doute le suivant : le soir du 26 octobre 1962, l'ExComm se réunit pour débattre de la réponse à apporter au message de Khrouchtchev et il est décidé de reporter la décision au lendemain. Le président Kennedy et quelques-uns de ses conseillers sont réticents à l'engagement américain de ne pas envahir Cuba, tel que requis par les Soviétiques.

Le 27 octobre 1962

Nos résultats montrent une émergence décisionnelle en forte baisse alors que seule la variable Politique subit une forte baisse.

Selon White (1996), c'est le « Black Saturday » à Washington. Les travaux sur les sites de missiles à Cuba continuent et certains sites sont jugés totalement opérationnels. Des rapports de la CIA révèlent une mobilisation rapide de l'armée cubaine et un mémorandum indique que la mission soviétique à New York prépare la destruction de documents importants, laissant penser à une imminence de conflit armé. Ces événements maintiennent la variable Problème au même niveau que celui de la veille. La variable ne progresse pas pour autant, probablement en raison de la valeur élevée de ses facteurs qui demeurent inchangés.

Par contre, ces nouvelles sèment la confusion au sein de l'administration américaine. Cette confusion est d'ailleurs accentuée par l'attitude de Khrouchtchev selon Preston (2001). En effet, le dirigeant soviétique, poussé par les militaires, déclare en public qu'il demande le démantèlement des bases militaires américaines en Turquie pour mettre fin à la crise et il le fait savoir à l'administration américaine par l'envoi d'une lettre à Kennedy, alors que l'ExCom se prépare à répondre à la lettre de Khrouchtchev adressée le jour précédent, non sans des échanges houleux et des frictions au sein de l'ExCom. L'administration américaine est perturbée et désunie par les messages successifs envoyés par le pouvoir soviétique, le 26 et le 27 octobre 1962, et qui comprennent des propositions différentes (White, 1996; Allison et Zelikow, 1999; Preston, 2001; Stern, 2005).

Tous ces événements expliquent l'état de la variable Politique qui subit une forte baisse, entraînée vraisemblablement par les facteurs Cohésion et Latitude qui sont aussi en baisse, selon nos données. Ces deux facteurs peuvent être, en effet, à l'origine de la forte baisse de l'émergence décisionnelle, surtout si nous faisons le bilan de la journée du 27 octobre 1962. En effet, ce jour-là vers midi, un avion américain U-2 est abattu au-dessus de Cuba et son pilote tué, entraînant une crise interne au sein de l'ExCom. Se positionnant contre la volonté des militaires, le président Kennedy interdit toute riposte militaire, à moins que l'incident ne se répète et concerne plusieurs avions.

Le bilan de cette journée comprend aussi une variable Solution en légère hausse selon nos résultats. Cette hausse peut s'expliquer par le fait que Kennedy et ses conseillers se mettent

d'accord sur un désarmement secret des bases militaires américaines en Turquie (White, 1996). C'est sans doute le facteur Faisabilité qui explique cette décision.

Cependant, en réponse à la lettre de Khrouchtchev du jour précédent, l'administration américaine fait savoir aux Soviétiques qu'elle accepte de mettre fin au blocus et elle promet de ne pas envahir Cuba contre le retrait des missiles soviétiques, mais sans aborder la question des missiles américains en Turquie.

Par ailleurs, aucune décision n'a été prise concernant les actions subséquentes, car l'administration américaine n'est pas encore sûre de la réaction soviétique et certains membres de l'ExCom préconisent déjà une invasion. White (1996) affirme que « Notes taken by Lyndon Johnson express the sense that many ExComm officials had about the likelihood and imminence of an American assault on Cuba: "regarding the peace in the Caribbean - By strike no later than Mon a.m. Invasion." » (p. 220).

Cet auteur ajoute que « Kennedy himself was acutely aware of the feeling in his administration that the time for military action against Cuba was approaching. At several points in the ExComm meetings on 27 October he spoke of the likelihood that the United States would have to attack Cuba in the next few days » (p. 221).

Mais il précise qu'au fil des discussions, « it became clear that Kennedy viewed military action against Cuba as a last resort. "I'm not convinced yet of the invasion," he told his advisers. Rather, he was interested in trying two other approaches before considering that alternative » (p. 222).

En réalité, malgré l'opposition de plusieurs conseillers au sein de l'ExCom, Kennedy préfère retirer des missiles américains de Turquie en échange du retrait de missiles soviétiques de Cuba que de déclencher un conflit armé. White (1996) affirme à ce sujet que « Although JFK's comments in ExComm and his decision to dispatch Bobby Kennedy to Dobrynin showed that he was anxious on 27 October to avoid a military conflict » (p. 226).

Ces éléments montrent que les circonstances décisionnelles sont loin d'être idéales et que l'administration américaine ne sait toujours pas comment la situation va évoluer ni quelle suite donner aux événements. Entre-temps, Allison et Zelikow (1999) mentionnent que « McNamara called to active duty 24 troop-carrier squadrons on the Air Force reserve, approximately 14,000 men. Thus the blockade was but the first step in a series of moves that threatened air strike or invasion » (p. 123). Cette situation se traduit par une émergence décisionnelle en baisse, comme nous pouvons le constater. Cette émergence affiche un profil 1 que nous avons qualifié d'infradécisionnel et cela a effectivement marqué cette journée de la crise.

Ce n'est que le soir du 27 octobre 1962 que la situation devient plus claire. Selon Garthoff (cité dans Nathan, 1992), « Kennedy's proposal [...] to exchange American assurances against invasion of Cuba for Soviet withdrawal of its missiles, coupled with a virtual ultimatum, was thus promptly accepted » (p. 48). Ce que White (1996) qualifie de règlement final de la crise, initialement proposé par l'ambassadeur Stevenson le 20 octobre 1962. Cet auteur soutient que « By refining Stevenson's ideas, Kennedy might have produced a settlement acceptable to both Khrushchev and American public opinion, thereby securing an early resolution to the crisis. » (p. 182).

C'est ce dénouement qui semble se refléter dans la hausse de la variable Solution, une hausse due selon nos données au facteur Faisabilité dont le niveau est élevé.

Le 28 octobre 1962

Bien que cette date soit considérée comme la dernière journée de la crise, les variables du système continuent à agir sur l'émergence décisionnelle. Selon May et Zelikow (2002), la crise n'est pas entièrement terminée. L'accord entre les deux puissances doit être suivi d'actions concrètes pour mettre fin à la crise, ce qui représente une continuité dans le processus décisionnel. D'ailleurs White (1996) soutient qu'à cette date, « Many American officials continued to feel that military action against Cuba was virtually unavoidable. » (p. 226), d'autant plus qu'un rapport de la CIA indique que les travaux sur les sites de missiles soviétiques n'ont pas cessé.

Mais ces événements ne semblent pas avoir d'impact sur la variable Problème, qui baisse à un niveau moyen, dictée par des facteurs Intensité et Urgence de niveau faible.

Malgré cette situation, la variable Solution enregistre une forte progression qui s'explique par le tournant que la crise a pris ce jour-là lorsqu'un message de Khrouchtchev, diffusé sur Radio Moscou, affirme que les Soviétiques acceptent le règlement proposé qui consiste à démanteler et à retirer les armes soviétiques contre l'engagement américain de ne pas envahir Cuba, sans mentionner les missiles américains installés en Turquie. May et Zelikow (1997) affirment qu'avec cette annonce, l'objectif fixé par l'administration américaine est atteint.

Or, la variable Politique demeure au même niveau bas que le jour d'avant, entraînée par des facteurs Climat et Cohésion de niveau faible. En effet, le message de Khrouchtchev est reçu à Washington à 9 h du matin. Selon White (1966), bien que des membres de l'ExCom aient accueilli la nouvelle avec soulagement, d'autres ont exprimé leur déception et leur colère vis-à-vis de ce développement (p. 229).

Cette journée est caractérisée par un profil infradécisionnel de l'émergence décisionnelle. Nous pouvons effectivement constater que le système n'était pas en situation prédécisionnelle et aucune décision n'a, de fait, été prise par l'administration américaine.

Conclusion

Le modèle PODESIM produit des résultats de simulation qui sont globalement corroborés par les événements et les actions de l'administration américaine. Comme tout modèle de simulation, PODESIM ne fournit pas de résultats complets pour expliquer toutes les facettes du cas traité, car un modèle est une représentation du système réel et non une copie.

Pour cette raison, ces résultats doivent être considérés avec prudence bien qu'ils nous aient largement permis d'expliquer l'émergence décisionnelle recherchée et l'état du système pour une bonne durée de la crise.

Cette émergence affiche trois profils, que cette analyse nous a permis de qualifier en tant que :

- Profil infradécisionnel (1) qui illustre un environnement décisionnel qui ne remplit pas des conditions minimales pour une émergence décisionnelle, et ce, même si les variables du système (Problème, Solution, Politique) sont à des niveaux assez importants pour engendrer des circonstances décisionnelles. L'émergence décisionnelle correspondant à ce profil est à un niveau moyen qui n'engendre pas de véritables circonstances décisionnelles.
- Profil prédécisionnel (2) qui représente un environnement décisionnel en état d'engendrer des circonstances décisionnelles. C'est-à-dire que plusieurs aspects de l'environnement décisionnel indiquent que le contexte est sur le point de générer une émergence décisionnelle. L'émergence décisionnelle correspondant à ce profil est à un niveau élevé.
- Profil décisionnel (3) qui traduit une véritable émergence décisionnelle pouvant mener à une prise de décision. L'émergence décisionnelle est au niveau maximal et elle illustre des circonstances décisionnelles urgentes.

Ces profils ne dépendent pas nécessairement de l'état des variables du système et nous n'avons pu identifier aucun lien de cause à effet entre le niveau de l'émergence et l'état des variables. Il n'y a pas non plus de liens de cause à effet entre les facteurs et les variables.

Les résultats confirment que l'émergence décisionnelle a un comportement typique d'un système complexe, dont le comportement global au niveau macro est le résultat d'une dynamique des entités qui le composent au niveau micro. Ce comportement global ne peut être prédit à partir de l'état individuel des entités, tel que nous venons de le constater.

Limites et incertitudes du modèle

Malgré la qualité des résultats obtenus et la validation de la méthode, le modèle PODESIM recèle quelques limites et incertitudes, étant donné que c'est un prototype en phase expérimentale.

Soulignons que la simulation est effectuée avec un cas empirique dans le but de valider le modèle. Cette validation est nécessaire et elle est conforme à la démarche de modélisation et simulation. Cependant, elle demeure limitée dans le sens où elle requiert le traitement d'autres cas empiriques afin de vérifier la robustesse du modèle, y apporter des correctifs éventuels et le généraliser. À titre d'exemple, pour les dates du 22 et 23 octobre 1962, nous avons constaté que le modèle a montré des limites lorsque l'environnement décisionnel dépasse le cadre traité par la simulation. Pour cet exemple, nous avons évoqué le besoin d'ajouter des facteurs de l'environnement international qui ne font pas partie du prototype actuel et qui auraient eu un impact sur les résultats obtenus dans cette étude de cas. La construction du modèle et le choix de ses entités sont basés sur un certain degré d'abstraction et de parcimonie afin de représenter un compromis entre la réalité et le modèle.

L'ajout de facteurs, de variables, ou de modules, est une démarche prometteuse pour compléter le modèle et le généraliser. La structure modulaire du modèle PODESIM permet non seulement d'intégrer des modules complémentaires et de nouvelles règles d'inférence, mais elle permet aussi de préserver la flexibilité et la versatilité du modèle.

Cependant, la base théorique en analyse de politiques publiques dont nous nous sommes inspirés ne suggère, à ce stade, aucune méthode avérée ou incontestable pour l'intégration de nouveaux modules ou facteurs. L'environnement micro du processus décisionnel est un système complexe, comme nous venons de le démontrer, et il demeure donc ouvert à l'intégration de nouvelles entités.

Par ailleurs, la simulation effectuée dans cette étude de cas n'a recours à aucune pondération des facteurs ou des variables. D'autres études de cas sont nécessaires pour découvrir des techniques qui permettraient de définir une pondération des facteurs et des variables en fonction des situations traitées. La pondération pourrait avoir un impact important sur les résultats.

De même, dans cette étude de cas, nous n'avons appliqué aucune pondération des règles d'inférence floue qui représentent les heuristiques décisionnelles. Nous ne disposons, à ce stade, d'aucune base théorique ou empirique qui permette de déterminer si une pondération

est nécessaire dans ce cas, ou comment l'appliquer. Les règles d'inférence floue que nous avons définies sont basées sur notre jugement, elles sont par conséquent teintées de certains biais. Des études de cas complémentaires sont essentielles pour déterminer si ces règles sont solides et si une pondération est nécessaire dans certaines situations. Toute pondération doit être basée sur des notions théoriques, des méthodologies adéquates et/ou des données empiriques.

De plus, les fonctions d'appartenance que nous avons établies sont aussi basées sur notre jugement. Seules des données numériques assez élaborées, telles que des séries temporelles par exemple, permettent de construire des fonctions d'appartenance plus précises et plus spécifiques.

Enfin, il ne faut pas négliger le fait que cette étude de cas est effectuée grâce à une recherche qualitative qui n'est pas exempte de subjectivité. C'est un aspect inhérent à toute recherche qualitative.

Par ailleurs, étant donné que le modèle est inspiré de la théorie des courants multiples, il serait pertinent de procéder à une étude comparative de résultats obtenus avec le modèle PODESIM et avec les analyses effectuées sur la base des courants multiples. Une telle étude pourrait identifier, par exemple, des points communs ou des différences entre la notion de l'émergence décisionnelle et le couplage de courants, ou encore des règles entre le niveau d'émergence et la force de couplage soulevée par Lemieux (2009).

Bien que les règles que nous avons définies dans cette étude de cas soient basées sur le postulat de la convergence des courants, cette convergence ne peut être déduite des résultats obtenus et nous avons démontré qu'aucun lien de cause à effet ne peut être mis en évidence entre le niveau de l'émergence décisionnelle et l'état des variables ou courants. Nos résultats n'apportent, à ce stade, aucune contribution quant à la notion de couplage des courants, mais ils mettent en évidence que notre démarche se démarque de la théorie des courants multiples.

7. INNOVATIONS ET CONTRIBUTIONS

Oser; le progrès est à ce prix.

Victor Hugo

Dans ce chapitre, nous exposons les innovations de ce projet multidisciplinaire et ses contributions dans les champs des politiques publiques et de l'administration.

D'entrée de jeu, précisons que l'avancement significatif de ce projet consiste en l'intégration de plusieurs techniques et la combinaison originale de plusieurs théories et méthodes qui n'ont pas été conjuguées jusqu'à présent dans le domaine des politiques publiques et de l'administration. Cette intégration nous a menés à une innovation majeure, en l'occurrence le développement d'un modèle de diagnostic décisionnel, que nous avons désigné par l'acronyme PODESIM (*Policy Decision Emergence Simulation Model*).

Le développement de ce modèle est atteint grâce à cette intégration ainsi qu'à la détermination et la caractérisation des entités qui constituent l'environnement micro du processus décisionnel en politiques publiques.

Du point de vue conceptuel, le modèle PODESIM établit des liens théoriques et pratiques entre des approches éloignées et des univers en apparence distincts. Il contribue au dépassement des clivages entre disciplines appartenant à des cultures scientifiques différentes et a priori étrangères afin de compléter et d'enrichir notre compréhension du processus décisionnel et d'explorer l'environnement micro de ce processus en particulier.

Ce modèle traduit aussi un dépassement des limites des approches conventionnelles en inaugurant la possibilité d'appréhender concrètement les aspects ambigus de l'environnement décisionnel qui dépendent de la subjectivité et de l'interprétation du décideur, aspects déjà soulevés par March et Olsen (1985), mais restés inexplorés faute d'outils adéquats.

Ce nouveau modèle intègre, dans la démarche décisionnelle marquée par l'incertitude et l'ambiguïté, des notions provenant des « sciences de l'artificiel », un ensemble de concepts préconisés par Simon (1969)³¹ et considérés comme des travaux pionniers dans le champ de l'intelligence artificielle en sciences sociales et que ce projet a fait progresser sur les plans théorique et pratique.

Sur un autre registre, ce développement multidisciplinaire constitue un progrès scientifique qui se traduit par la combinaison de deux théories, à savoir la théorie des systèmes complexes et la théorie des courants multiples en tant que première étape de ce projet.

Cairney (2015) soutient que la théorie des courants multiples a apporté des contributions importantes à la théorie de politiques et aux études empiriques, mais que ces contributions demeurent séparées les unes des autres et ne constituent pas un corpus de recherche cohérent et solide.

Notre projet apporte un élément de réponse à cette critique en proposant d'intégrer des notions de la théorie des courants multiples et des méthodologies et techniques empiriques. Cette intégration s'est avérée cohérente et elle ouvre de nouvelles perspectives de recherche.

Ce projet repousse par la même occasion les limites des approches existantes en transformant une théorie narrative, la théorie des courants multiples, en un modèle ouvert et modulaire qui se prête à l'opérationnalisation et à la simulation. Cet accomplissement contribue aux recherches théoriques et empiriques concernant l'opérationnalisation de la démarche décisionnelle en politiques publiques.

Un autre aspect innovateur de notre démarche constitue une transition de l'analyse décisionnelle systémique au niveau macro, centrée sur les acteurs, vers une démarche basée sur les facteurs et leur dynamique au niveau micro, ou sous-systémique, du processus

³¹ Voir : H. A. Simon (1969). *The Sciences of the Artificial*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. Et H. A. Simon, "Artificial Intelligence: An Empirical Science". Dans *Artificial Intelligence*, 77(1995):95-127.

décisionnel. En d'autres termes, notre démarche a permis de dépasser les limites que les approches décisionnelles classiques ont atteintes, et de développer les outils qui sont en mesure de caractériser et d'appréhender l'environnement micro du processus décisionnel tout en incorporant ses propriétés de système complexe.

Les propriétés complexes de cet environnement micro ont déjà été soulevées par certaines approches, mais elles sont restées jusque-là indéterminées.

Nous avons donc accompli un progrès dans la prise en compte et le traitement des aspects complexes du niveau le plus profond du processus décisionnel qui influencent la prise de décision et, par conséquent, les politiques publiques et l'administration.

Ces aspects méritent d'être appréhendés avec intérêt car, selon Koliba et Zia (2011), « complexity has always been a part of everyday public management and policy practices [...] The extent to which a policy and governance system is stable or experience instability should matter to those interested in public administration and policy » (p. 2, 3).

De plus, Klijn et Snellen (2009) soutiennent aussi que « The history of the field of public administration could be viewed as an ongoing attempt to search for concepts to grasp the complexity of day-to-day practices in policy-making and decision-making » (p. 17).

Les propos de ces auteurs nous autorisent à affirmer que notre démarche répond à un besoin non encore comblé, du moins partiellement, dans le champ des politiques publiques et de l'administration. Cette démarche, en partie basée sur la théorie de la complexité, explore de nouvelles facettes du processus décisionnel et révèle des aspects et des détails inexplorés jusque-là.

Le fait d'appréhender et d'expliquer des aspects complexes du processus décisionnel représente un fort potentiel pour améliorer notre compréhension de la prise de décision et, par conséquent, l'élaboration de politiques et leur mise en œuvre par l'administration publique (Meek, 2010).

De plus, dans cette démarche, nous faisons appel à la modélisation et à la simulation comme techniques de traitement de l'émergence décisionnelle, ce qui représente une innovation méthodologique qui contribue au raffinement de la compréhension de la dynamique décisionnelle en politiques publiques.

C'est grâce à ces techniques que nous avons réussi à simuler des scénarios et des heuristiques décisionnelles qui nous ont permis d'identifier les facteurs et la dynamique de l'émergence décisionnelle, qui représentent les véritables leviers de la prise de décision.

Cette innovation méthodologique a permis aussi de procéder à un changement de registre.

En effet, le développement du modèle PODESIM se traduit par une transition d'une analyse décisionnelle statique, avec des approches conventionnelles, à une démarche dynamique dans le but d'explorer les méandres du processus décisionnel en politiques publiques et de percevoir la dynamique qui engendre les circonstances décisionnelles.

Cette transition touche aussi le mode de diagnostic décisionnel, car notre démarche constitue un passage de l'analyse classique linéaire et descendante (*Top Down*) à la simulation ascendante (*Bottom Up*) des entités et de la dynamique à partir du niveau le plus profond du processus décisionnel.

Le fait d'appréhender le niveau micro du processus décisionnel qui possède des propriétés d'un système complexe selon une démarche ascendante à travers la modélisation et simulation se traduit aussi par une innovation de nature épistémologique.

En effet, nous procédons par le fait même à un changement de paradigme et nous concrétisons une transition des approches positivistes à une approche postpositiviste. Il s'agit d'un passage de l'approche analytique « rationnelle » et déterministe à une approche dite « générative », qui est l'essence même de la complexité (Epstein, 2006). Ce nouveau paradigme offre de nouvelles manières de comprendre et de décrire le monde (Mitleton-Kelly, 2003; Mitchell, 2009).

Au-delà du progrès théorique, paradigmatique et méthodologique, le modèle PODESIM et la technique de simulation en général constituent une valeur ajoutée au processus décisionnel et au cycle de politiques publiques.

La simulation joue un rôle important dans la prévision et la planification de divers scénarios et options dans une perspective d'optimisation de la prise de décision et de son impact ainsi qu'un accroissement de la qualité et du succès des politiques publiques. Cette démarche concerne toutes les étapes du cycle de politiques car ces étapes sont par définition dynamiques et comprennent des aspects incertains et indéterminés qui ne sont jamais entièrement contrôlés ou prévisibles, mais qui peuvent être appréhendés par la simulation.

La simulation de scénarios et d'alternatives permet de renforcer les cycles des politiques, mais surtout de cibler des enjeux et même de les prévenir lorsque cette simulation est appuyée par des données complètes et contextualisées. Ceci se traduit notamment par l'élaboration proactive de politiques, « which tries to address problems and improve society, instead of reactively coping with public dissatisfaction and complaints. » (Tsoukias et al., 2013, p. 126).

Il se traduit aussi par la prise en compte de futurs développements, car « the long-term implications of policy making imply the need to consider the range of possible futures, sometimes characterised by deep uncertainties and calling for the development of future scenarios » (Tsoukias et al., 2013, p. 128).

Grâce au modèle PODESIM, la simulation de différentes options permet de mieux structurer les enjeux et de formuler des solutions optimisées à ces enjeux. Tsoukias et al. (2013) affirment que « a large part of the decision support activities occurring within a policy cycle are about understanding, formulating and structuring “problems”. » (p. 129). Ils ajoutent aussi que « Most of the policy cycle is about designing or constructing alternatives. Actually, most of “smart” policy making is about “innovative design” of “innovation policies” (Montibeller and Franco, 2011). » (p. 129).

Enfin, le modèle PODESIM et plus généralement la modélisation et simulation élargissent le champ des possibilités. La simulation peut en effet s'effectuer en temps réel lorsqu'elle est

alimentée par un flux dynamique de données suffisant, ce qui peut résulter en une prise de décision rapide et en une élaboration de politiques appropriées et d'interventions publiques ciblées et de qualité.

Ces nouvelles perspectives décisionnelles permettent d'intégrer le modèle PODESIM dans le vaste univers de l'administration et des politiques publiques.

L'association des « sciences des données », de la modélisation et simulation, des politiques publiques et de l'administration représente un avantage inestimable qui se traduit par un meilleur diagnostic des leviers de l'émergence décisionnelle et un soutien plus ciblé à la prise de décision et au cycle de politiques en général.

Des décisions et politiques informées et éclairées se traduisent par une mise en œuvre plus adéquate de la part de l'administration publique et répondent aux enjeux spécifiques qui ont mené à l'élaboration de ces politiques.

La modélisation et simulation peut jouer un rôle utile et important dans l'usage de ressources informationnelles et de données provenant de sources diverses pour fournir aux décideurs, aux administrateurs et aux praticiens des assises solides et spécifiques dans la démarche décisionnelle et dans la pratique managériale qu'aucune autre technique n'est à ce stade en mesure d'offrir.

Dans la figure suivante, nous illustrons la façon d'intégrer le modèle PODESIM dans l'environnement politico-administratif.

Nous illustrons aussi le rôle que peuvent jouer les données provenant de différentes sources dans la simulation de la démarche décisionnelle et dans la gestion des enjeux publics, notamment les données et les ressources informationnelles produites et exploitées par les administrations publiques, que ce soit en aval ou en amont du cycle de politiques.

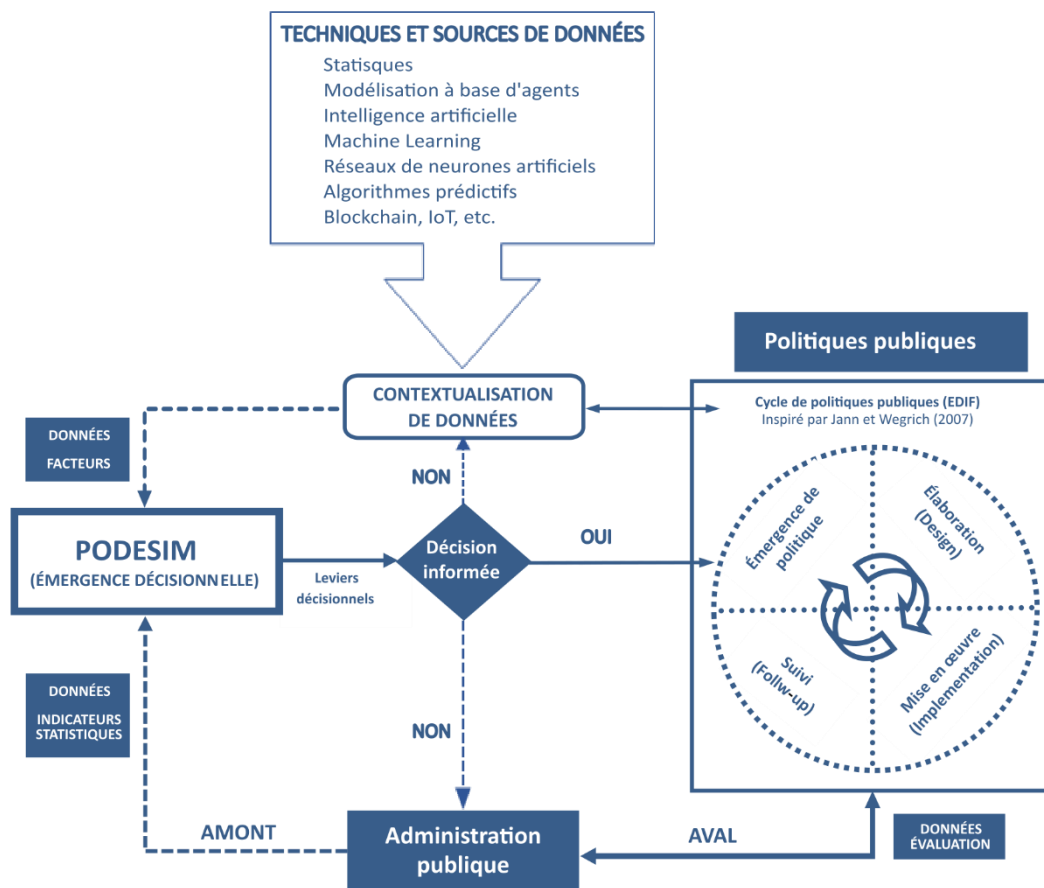


Figure 7.1 Le modèle PODESIM dans l'environnement politico-administratif

L'intégration de ces sphères complémentaires représente plusieurs avantages.

La démarche décisionnelle préconisée par la modélisation et simulation en général, lorsqu'elle repose sur des modèles fiables et des ressources informationnelles crédibles, complètes et exploitables, permet de prendre des décisions informées et argumentées.

Elle améliore aussi la qualité et renforce l'impact des politiques publiques. Cette démarche permet, par exemple, de rapprocher les politiques des enjeux réels en les appuyant sur les données probantes (*Evidence-based Policy*) lorsque les leviers décisionnels sont clairement identifiés; elle permet aussi de faciliter la mise en œuvre et l'évaluation de ces politiques.

L'une des raisons est que « Simulation allows decision-makers to understand the essence of a policy, to identify opportunities for change, and to evaluate the effect of proposed changes in

key performance indicators (Banks, 1998; Law and Kelton, 1991) » (Janssen et Wimmer, 2015, p. 7). Ces auteurs ajoutent aussi que « Policy-making is confronted with an increasing complexity and uncertainty of the outcomes which results in a need for developing policy models that are able to deal with this. To improve the validity of the models policy-makers are harvesting data to generate evidence » (p. 2).

Le modèle PODESIM peut contribuer à dissiper cette complexité en exploitant des données contextualisées provenant de sources diverses. Il peut donc fournir une image plus réaliste et plus détaillée de l'environnement décisionnel afin de mieux saisir ce qui devrait constituer l'« essence de la décision », grâce notamment à l'exploitation de données et à l'identification des leviers décisionnels en tant que preuves pour justifier la prise de décision et légitimer l'élaboration et la mise en œuvre de politiques.

D'ailleurs, afin d'exploiter les données et les ressources informationnelles, notamment lors de la mise en œuvre et de l'évaluation de politiques, les organisations publiques peuvent faire appel à la simulation pour suivre les résultats en temps réel et ajuster les actions en conséquence.

Ceci permet à l'administration publique d'être efficace, adaptative et proactive, grâce aux données³². Les organisations publiques peuvent aussi contribuer à une meilleure gouvernance à travers une dynamique basée sur la production et le partage des données dans un environnement public ouvert³³ et l'exploitation et la contextualisation de ces données avec des techniques évoluées.

³² Voir à ce sujet : F. H. Mitchell & C. C. Mitchell (2016). *Adaptive Administration: Practice Strategies for Dealing with Constant Change in Public Administration and Policy* (ASPA Series in Public Administration and Public Policy). CRC Press.

³³ Concernant les besoins et la gestion de ressources informationnelles et de leur impact sur la gouvernance et l'administration publique, voir : D. J. Caron (2018). Chapitre 26. La production documentaire dans les administrations publiques : enjeux et pistes de solution. Dans Michaud, N. (Dir.), *Secrets d'États ? Les principes qui guident l'administration publique et ses enjeux contemporains*. 2^e édition. Presses de l'Université du Québec.

Par ailleurs, le modèle PODESIM représente aussi un concept et une base fondamentale pour appréhender non seulement l'émergence décisionnelle, mais aussi une infinité de situations, avec des arrangements spécifiques selon les besoins.

Étant un modèle ouvert, modulaire et versatile, il peut être enrichi pour, par exemple, permettre de faire un suivi ou des prévisions lorsqu'il est alimenté régulièrement et correctement par les données fiables nécessaires à la simulation. D'où l'importance de recourir à des sources diverses de données et des techniques appropriées pour les traiter et les contextualiser.

Le modèle peut aussi servir à effectuer une évaluation continue des politiques et de leur mise en œuvre, tout en apportant des réponses spécifiques et rapides aux enjeux publics. En d'autres termes, le modèle peut intervenir à toutes les étapes du cycle de politiques.

D'ailleurs, ce dernier aspect est susceptible de contribuer aussi à la performance et à la cohérence des politiques publiques³⁴ en incluant des entités et des modules dont le rôle et l'influence dépassent le cadre d'une seule politique.

Il peut, en outre, contribuer à une évaluation plus objective des politiques et une mesure plus précise de leur performance, car ces évaluations seraient basées sur des variables spécifiques, des critères précis et des objectifs ciblés. Ce qui mène, en définitive, non seulement à une meilleure efficacité de l'intervention publique et à une optimisation des politiques, mais aussi à la légitimité et à la transparence des politiques. Tsoukias et al. (2013) affirment que « as already introduced by Habermas (1981), legitimated policies are the ones which are appropriately explained, justified, supported and not sufficiently confuted (i.e. argued). » (p. 128).

Par ailleurs, la combinaison des « sciences des données » et du modèle PODESIM est rendue possible grâce à une autre innovation majeure de notre projet, à savoir l'intégration de

³⁴ Voir à ce sujet : J. Savard (2010). Chapitre 11. La cohérence des politiques publiques. Dans Paquin, S., Bernier, L., & Lachapelle, G. (Eds.), *L'analyse des politiques publiques*. Presses de l'Université de Montréal.

techniques de l'intelligence artificielle, en l'occurrence la logique floue, dans la démarche de simulation décisionnelle en politiques publiques. C'est cette technique qui nous a permis d'identifier les véritables leviers décisionnels et leur impact sur l'émergence décisionnelle et elle s'est révélée la plus adéquate pour appréhender l'environnement décisionnel au niveau micro, chargé d'incertitudes et d'ambiguïtés.

Dans le domaine de la recherche en politiques publiques et en administration publique, les percées de la modélisation et des techniques de l'intelligence artificielle demeurent limitées. Peu de travaux traitent de l'intelligence artificielle ou des techniques issues de l'intelligence artificielle en politiques publiques.

Ce constat renforce l'intérêt pour un modèle tel que PODESIM, qui propose une introduction effective de ces techniques et apporte une contribution à des champs interdisciplinaires naissants, tels que les politiques publiques computationnelles (Solo, 2014) ou encore le nouveau champ de la *Policy Analytics*. Un domaine de recherche d'une importance cruciale pour le futur des politiques et de l'administration qui se démarque de la traditionnelle analyse de politiques³⁵.

Notre projet de recherche s'inscrit parfaitement dans ce développement théorique et méthodologique multidisciplinaire. Il propose l'intégration effective de méthodologies avancées dans le champ des politiques publiques et de l'administration, telles que la modélisation et simulation, combinées aux « sciences des données » et de techniques de l'intelligence artificielle, telles que les systèmes à inférence floue.

Cette intégration nécessite d'être pensée, façonnée et mise en œuvre pour répondre à des besoins réels qui touchent la prise de décision et le management. Zgurovsky et Zaychenko (2016), par exemple, soutiennent que « The use of fuzzy inference systems (FIS) [...] has allowed to solve many problems of decision-making under uncertainty, incompleteness and

³⁵ Voir à ce sujet : Daniell, K.A., Morton, A. & Ríos Insua (2016). Policy analysis and policy analytics. *Annals of Operations Research* January 2016, Volume 236, Issue 1, p. 1-13.

qualitative information—forecasting, classification, cluster analysis, pattern recognition » (p. 81).

Ce projet d'intégration se révèle indispensable pour enrichir et reconfigurer la manière dont les politiques publiques et l'administration sont conçues et gérées. Il est en mesure de conférer à ces champs la capacité de mieux appréhender l'évolution et la complexité du monde contemporain. Il peut aussi insuffler une efficacité et une efficacité améliorées aux processus administratifs et de politiques publiques.

Enfin et surtout, l'intégration de nouvelles méthodologies dans ces champs est susceptible de faire émerger de nouvelles idées et de nouveaux outils, et d'offrir un éclairage nouveau à la réalité. Cette intégration favorise aussi la porosité entre disciplines, qui est une source d'enrichissement mutuel, ainsi que la multi-appartenance des outils dédiés aux politiques publiques et à l'administration à des sphères différentes, mais qui sont parties prenantes dans l'environnement politico-administratif.

Dans cet environnement, par définition complexe, les techniques avancées qui exploitent la richesse des données, sont amenés à jouer un rôle décisif en raison du progrès et de l'impact d'une révolution numérique toujours en marche. Ceci est d'autant plus vrai que les champs des politiques publiques et de l'administration sont en constante adaptation, une adaptation dictée par la dynamique de la vie publique et les progrès dans tous les domaines.

Notre projet apporte une contribution concrète à ce courant de recherche pluridisciplinaire qui tire profit du développement technologique de la nouvelle transition numérique et qui requiert des outils adéquats et performants. Cette ère est très axée sur la production, le partage et l'exploitation de données, de plus en plus volumineuses et diversifiées, à travers des techniques évoluées et des outils appropriés. Cette exploitation des données nécessite cependant le développement de modèles novateurs, efficaces et précis pour appréhender la complexité et donner un sens à la réalité.

CONCLUSION ET FUTURES RECHERCHES

Il n'est rien au monde d'aussi puissant qu'une idée dont l'heure est venue.

Victor Hugo

Cette conclusion dresse un sommaire des principales étapes de cette thèse. Elle décrit les démarches et conclusions de chaque étape et suggère de nouvelles pistes de recherche.

Ce projet de recherche, qui s'appuie sur une variété de théories, de techniques et d'approches différentes, est animé par un certain nombre d'ambitions. Nous avons souhaité faire une incursion dans les méandres du processus décisionnel en politiques publiques et explorer les multiples niveaux d'analyse de ce processus ainsi que la manière dont ces niveaux ont été jusque-là appréhendés par les principales approches décisionnelles classiques.

Cette incursion nous a conduits à conclure que, d'une part, ces approches classiques analysent le processus décisionnel du point de vue systémique au niveau macro, et, d'autre part, qu'elles ne traitent, en général, que des acteurs de ce processus.

Nous avons passé en revue les principaux modèles décisionnels classiques en politiques publiques, à savoir le modèle rationnel, le modèle incrémental, le modèle bureaucratique et enfin le modèle des « anarchies organisées », ou *Garbage Can Decision Model*, afin d'examiner la manière dont ces approches traitent le processus décisionnel en politiques publiques et d'identifier le niveau d'analyse exploré par chacune de ces approches.

Cette revue a démontré que, depuis un peu plus d'un demi-siècle, les approches décisionnelles en politiques publiques n'ont cessé d'explorer les multiples niveaux du processus décisionnel en vue d'apporter un éclairage plus complet de la démarche décisionnelle et de la prise de décision.

L'évolution de ces approches traduit, d'une part, la richesse de l'analyse décisionnelle qui incorpore au fil des développements des couches complémentaires qui se superposent et

s'imbriquent au sein du processus décisionnel, et d'autre part, une progression épistémologique qui commence par une conception positiviste et déterministe pour tendre vers une vision postpositiviste. Cette vision inclut des aspects qui n'obéissent pas à des liens de causes à effets et elle n'a pas pour objectif de renverser un certain ordre établi dans l'analyse décisionnelle classique. C'est une vision qui tente plutôt d'ajouter aux modèles existants une dynamique, qui se situe à un niveau plus profond, déjà soulevée par certains modèles, mais qui demeure, à ce jour, inexplorée par les approches décisionnelles en politiques publiques, faute d'outils adéquats.

Notre ambition consiste donc à explorer un niveau plus profond du processus décisionnel, c'est-à-dire l'environnement micro ou sous-systémique, animé par des facteurs et des dynamiques plus que par des acteurs décideurs. Ce niveau possède des caractéristiques d'un système complexe, c'est-à-dire un système composé de plusieurs entités interreliées, sans contrôle centralisé et dont la dynamique non linéaire engendre un comportement systémique global qui ne peut être prédit à partir des seules caractéristiques individuelles des entités. Cet environnement correspond à la vision postpositiviste et requiert un tournant paradigmatique et des approches adéquates capables de l'appréhender. Or, les propriétés de cet environnement micro sont inconnues.

Notre objectif consistait donc à identifier les entités qui composent ce niveau micro du processus décisionnel et leurs caractéristiques, et à trouver ensuite des outils appropriés pour traiter cet environnement et son impact sur le comportement global du système.

La dynamique inhérente à ce niveau micro, soulevée par certains, traduit en effet les fondements qui engendrent les circonstances décisionnelles que nous avons définies comme l'émergence décisionnelle. Cette émergence prend naissance au niveau micro du processus décisionnel et elle est susceptible de mener à une prise de décision.

La nature complexe de cet environnement micro nous a amenés à explorer la théorie des systèmes complexes afin de rechercher des outils susceptibles d'appréhender cet environnement.

La théorie des systèmes complexes ne constitue pas une discipline homogène, mais plutôt un terrain riche de concepts et de méthodes pour traiter les phénomènes qualifiés de complexes, tels que l'émergence décisionnelle en politiques publiques.

La revue des diverses notions provenant de la théorie des systèmes complexes a montré que l'étude de la dynamique des systèmes complexes requiert des méthodologies appropriées, telles que la modélisation et la simulation. La modélisation consiste à créer un modèle qui représente le système réel sans posséder toutes les caractéristiques inhérentes de ce système en raison de sa complexité; et la simulation consiste à expérimenter des scénarios de comportement du système et de ses entités en vue d'analyser et de présager son évolution. Ces deux techniques représentent en réalité deux aspects complémentaires et indissociables : l'aspect statique, illustré par le modèle représentatif du système étudié, et l'aspect dynamique, qui traite des scénarios de son évolution, concrétisés par la simulation.

Cette méthodologie, une fois mise en œuvre, permet d'explorer et de prévoir l'évolution du système, et d'identifier les entités et les dynamiques au niveau micro qui engendrent son comportement au niveau macro.

Or, l'identification de la méthodologie appropriée pour traiter notre système complexe, c'est-à-dire l'émergence décisionnelle, n'a pas, pour autant, éliminé les embûches de notre démarche.

D'abord, elle ne permet pas de déterminer les entités du modèle conceptuel représentatif de l'émergence décisionnelle. Ensuite, la théorie des systèmes complexes, si elle propose cette méthodologie, ne peut, à elle seule, traiter un enjeu de politiques publiques sans une assise théorique provenant de ce champ (Morçöl, 2010) qui constitue un fondement du modèle conceptuel de notre système complexe.

Il nous a donc fallu identifier un outil qui constitue l'articulation entre la théorie des systèmes complexes et le champ des politiques publiques.

Cette articulation nous a été fournie par le diagramme de Stacey (2000), conçu pour expliquer la prise de décision dans les organisations. Cet outil, adapté par Geyer et Rihani (2010) au

champ des politiques publiques, est un diagramme qui décrit un éventail de plusieurs zones décisionnelles selon certains critères, dont une zone de complexité. Geyer et Rihani ont déterminé que cette zone comprend la mise à l'agenda et le modèle décisionnel des anarchies organisées (*Garbage Can Decision Model*). C'est ce constat qui a nous guidés en vue d'explorer la théorie des courants multiples (Kingdon, 2014) qui est fortement liée à ces deux concepts.

En effet, la théorie des courants multiples intègre ces deux notions, car elle est basée sur le *Garbage Can Decision Model*, et la mise à l'agenda étant un de ses fondements. Cependant, cette théorie représente un cadre d'analyse dédié à l'élaboration et au changement de politiques publiques et ne constitue pas une approche décisionnelle. De plus, bien qu'elle comprenne des notions qui touchent à la complexité du processus décisionnel, ses assises théoriques ne se prêtent pas à une opérationnalisation et ne permettent pas de construire un modèle représentatif de l'environnement décisionnel au niveau micro.

Les courants définis par cette théorie, à savoir le courant des problèmes, le courant des solutions et le courant politique, représentent des notions vagues et incertaines. Toute tentative de modéliser ces courants et de choisir des entités qui les composent entraîne le risque d'une approximation et d'une linéarisation qui négligent la complexité du phénomène d'émergence décisionnelle.

Par ailleurs, un pareil exercice constitue une démarche au niveau systémique qui ne prend pas en considération les éléments du niveau micro. Nous en avons conclu que la théorie des courants multiples ne répond pas, telle qu'elle est, aux besoins de notre projet, mais qu'elle demeure le mode d'articulation entre les concepts provenant de la théorie des systèmes complexes et le champ des politiques publiques.

Nous avons donc orienté nos efforts vers une exploration en profondeur de la théorie des courants multiples afin d'y déceler des éléments qui permettent d'identifier les entités de l'environnement micro du processus décisionnel susceptibles de se prêter à l'opérationnalisation.

Ces efforts ont conduit à la mise en évidence, au sein de chaque courant, des facteurs influents au niveau micro. Ces facteurs peuvent être opérationnalisés et modélisés. Nous les avons donc retenus comme entités de l'environnement micro du processus qui engendre les circonstances décisionnelles. En effet, c'est la dynamique de ces facteurs au niveau micro qui détermine l'ampleur et le comportement des courants, tel que suggéré par cette théorie.

Notre modèle conceptuel est donc constitué de ces facteurs, identifiés comme entités de niveau micro, et des courants qui représentent des variables intermédiaires qui mènent à l'émergence décisionnelle. Notre postulat est inspiré des préceptes de la théorie des courants multiples et de sa conception du phénomène de convergence des courants qui mène à un changement de politique.

Cependant, si la théorie des courants multiples nous a aidés à identifier les entités de l'environnement micro du processus décisionnel (facteurs et variables) pour modéliser l'émergence décisionnelle, elle n'aborde ni la dynamique de ces entités, ni leur impact individuel sur l'évolution du système. Cette limite nous a conduits à analyser davantage les propriétés des entités identifiées afin de rechercher les outils appropriés qui permettent de déterminer leur dynamique afin de procéder à la simulation.

À la suite de cette analyse, nous avons constaté que les entités retenues pour la construction du modèle de l'émergence décisionnelle représentent des notions approximatives et incertaines. Même si parmi ces entités certains facteurs sont mesurables, leur grandeur demeure sujette à interprétation et leur impact est tributaire de l'évaluation et du raisonnement humains, par définition subjectifs.

Ce constat nous a apporté une difficulté et une limite supplémentaires dans l'avancement de notre projet, car il ajoute à notre système complexe des détails nouveaux que notre démarche n'avait pas encore pris en compte, à savoir les informations de nature approximative et le raisonnement humain. Ces deux notions sont caractérisées par l'incertitude et par l'ambiguïté.

À titre d'exemple, évoquer un problème, une des variables du système, comme étant urgent, est une description imprécise et floue qui dépend du contexte, du raisonnement humain et d'autres facteurs tangibles et intangibles.

En outre, la description des entités du modèle est de nature textuelle, à l'instar de l'exemple du problème ci-haut. Cette description fait donc appel à des variables linguistiques pour caractériser les entités en jeu et leur attribuer une certaine grandeur.

Ces observations nous ont menés à identifier la logique floue (*fuzzy logic*) comme une approche capable de traiter l'imprécision, l'incertitude et les informations approximatives ou symboliques qui sont décrites par des variables linguistiques et teintées par les biais du raisonnement humain. Cette étape représente l'intégration d'une troisième approche à notre démarche multidisciplinaire.

La logique floue est une discipline mathématique qui fait partie du champ de l'intelligence artificielle. Elle a donné naissance à la théorie des ensembles flous, qui sont des classes d'éléments dont les limites ne sont pas déterminées avec précision. Ces ensembles sont plutôt décrits par des intervalles nuancés et exprimés avec des variables linguistiques, qui représentent la diversité quantitative et qualitative des entités qui les composent. Ce sont des ensembles qui attribuent à leurs constituants une appartenance partielle traduisant un certain degré de vraisemblance ou de vérité.

Le développement de cette discipline a engendré la technique d'inférence floue ou à base de règles floues (ou règles linguistiques). C'est une technique de modélisation et de simulation qui permet de transformer des intrants d'un système (ou *inputs*) en sorties (ou *outputs*) à travers un algorithme et un ensemble d'heuristiques décisionnelles construites à partir des connaissances et de l'expertise du praticien. Cette technique consiste à construire des modèles comme des systèmes à inférence floue qui prennent en compte les propriétés imprécises et incertaines des entités d'un système.

En raison de cette incertitude et de cette imprécision, les entités du système étudié sont alors désignées par des intervalles partiels de grandeurs, qui sont décrits par des variables

linguistiques (par exemple, petit, moyen, grand). L'ensemble des intervalles représente toute la plage de valeurs que les entités peuvent avoir, désignée en tant qu'univers du discours.

De plus, ces intervalles partiels définissent aussi les fonctions d'appartenance, c'est-à-dire le degré de vraisemblance ou de vérité de l'appartenance d'une entité à un intervalle déterminé.

La technique consiste ensuite à associer des heuristiques décisionnelles sous forme de règles de comportement, issues des connaissances et de l'expertise dans le domaine. Ces heuristiques, ou règles d'inférence, déterminent l'évolution probable du système en fonction des scénarios possibles. Ce sont les règles d'inférence qui comprennent aussi des opérateurs logiques pour effectuer l'association des conditions allouées aux scénarios présumés.

Ross (2010) précise d'ailleurs que :

[...] the power of fuzzy nonlinear simulation is manifested in modeling nonlinear systems whose behavior we can express in the form of input–output data-tuples, or in the form of linguistic rules of knowledge, and whose exact nonlinear specification we do not know (p. 265).

L'ajout de cette technique a comblé notre besoin et nous a permis de construire le modèle de simulation de l'émergence décisionnelle en politiques publiques, que nous avons désigné par l'acronyme PODESIM (*Policy Decision Emergence Simulation Model*).

Pour ce qui est de l'aspect empirique, le modèle PODESIM, qui a pour vocation de simuler l'émergence décisionnelle dans un environnement donné, nécessitait d'être « expérimenté » et ensuite validé à l'aide d'un cas réel. Autrement dit, la simulation exige d'abord une phase « expérimentale » pour tester le fonctionnement du modèle et évaluer les résultats qu'il fournit. Pour cela, nous avons procédé à des simulations avec deux configurations que nous avons élaborées dans la partie théorique. Ces deux configurations comprennent chacune un type de fonctions d'appartenance décrivant les intervalles partiels de valeurs, associé à deux méthodes de défuzzification, et ce, dans le but de déterminer la configuration qui produit des résultats fiables et corroborés par les faits réels.

Cette expérimentation est suivie par une étude de cas empirique afin de valider le modèle.

La validation est une phase obligatoire dans toute démarche de modélisation et simulation. Elle permet de tester le fonctionnement du modèle dans des conditions réelles et d'évaluer les résultats qu'il fournit en les confrontant aux faits et aux données du cas empirique.

Pour ce faire, nous avons choisi de simuler l'émergence décisionnelle au sein de l'administration américaine pendant la crise des missiles de Cuba qui a duré, selon les ouvrages dédiés, du 15 au 28 octobre 1962.

Le choix de ce cas empirique est justifié par plusieurs aspects. D'abord, le fait que cette crise suscite encore l'intérêt des chercheurs, car elle n'a pas encore livré tous ses secrets et peut encore apporter des éclairages susceptibles d'aider les décideurs (Dobbs, 2008).

Ensuite, parce que les analyses antérieures de cette crise ont été effectuées avec des approches analytiques classiques qui traitent de la décision au niveau systémique et qui négligent les éléments imprédictibles (Dobbs, 2008).

Enfin, l'élément le plus important pour cette étude de ce cas est surtout l'abondance et la disponibilité d'informations de sources primaires qui sont circonscrites dans le temps, ce qui nous évite, à ce stade du développement du modèle, de manipuler de grandes quantités de données sur de longues périodes de temps. Ceci nous garantit un contrôle de la simulation du modèle, déjà chargée d'opérations.

Mais l'objectif ultime de cette simulation est d'identifier les facteurs et la dynamique qui engendrent les circonstances décisionnelles, c'est-à-dire les leviers de l'émergence décisionnelle. Ces simulations sont effectuées avec *Fuzzy Logic Toolbox*, un module de la plateforme Matlab, dédiée à la modélisation et à la simulation des systèmes à inférence floue.

Pour cette étude de cas, nous avons eu recours à une recherche qualitative, sous forme d'analyse textuelle, pour collecter les données nécessaires à la simulation. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les ressources documentaires disponibles, dont la transcription des *verbatim* de réunions de la cellule de crise, l'ExCom, mise sur pied par le Président Kennedy dès le début de la crise des missiles. Ces enregistrements sonores ont été effectués à l'insu

des membres de cette cellule, ce qui leur confère un aspect authentique dénué de toute interprétation.

À la suite de cette étape de validation, nous avons démontré que les résultats obtenus confirment largement l'applicabilité et la fiabilité du modèle PODESIM et de ses postulats et heuristiques décisionnelles. De plus, les résultats obtenus démontrent que l'émergence décisionnelle, en tant que phénomène global d'un système complexe, ne peut en effet être déduite ni prédite à partir de l'état individuel des entités qui composent le niveau micro de ce système.

Ces résultats indiquent qu'aucune corrélation ni lien de cause à effet ne peut être déterminé entre des entités au niveau micro (les facteurs) et le phénomène global au niveau macro (l'émergence décisionnelle). Autrement dit, quelle que soit la grandeur de chacun des facteurs, cette grandeur ne permet pas de prédire l'émergence décisionnelle.

De plus, aucun facteur ni variable en particulier ne possède des particularités qui prédéterminent son impact sur l'émergence décisionnelle. Seule la dynamique de l'ensemble des entités peut engendrer le comportement global, même si cette dynamique est reliée à la grandeur des entités en jeu.

Par ailleurs, les résultats obtenus par la simulation confirment notre choix de la méthodologie adoptée puisqu'ils sont corroborés par les faits réels et les événements entourant la crise des missiles de Cuba. Ces résultats fournissent le niveau de l'émergence décisionnelle pour toute la durée de la crise et ce niveau reflète largement les circonstances décisionnelles au sein de l'administration américaine.

Les résultats de la simulation ont permis par la suite de déduire l'état du système pour chaque niveau d'émergence et d'identifier les facteurs qui constituent les leviers de l'émergence décisionnelle.

En conclusion, nous avons validé le modèle PODESIM et démontré qu'il permet de répondre à notre question de recherche. Il permet aussi de mettre en évidence des caractéristiques et des détails du processus décisionnel qui ne sont pas pris en compte par les approches

analytiques classiques. En ce sens, il peut constituer un outil adéquat de diagnostic décisionnel, de *monitoring* et de prévisions.

Le modèle et la méthodologie offrent beaucoup de potentiel pour explorer un vaste éventail de simulations, même au-delà de l'émergence décisionnelle. Cependant, une seule étude de cas n'est pas suffisante pour conclure à la stabilité et à la robustesse du modèle, et nous avons déjà soulevé certaines limites et incertitudes du modèle dans notre analyse de résultats, mais ces limites concernent l'étude de cas en particulier.

Néanmoins, comme tout modèle de simulation, PODESIM requiert d'être expérimenté davantage et de futures études de cas et de recherches qui touchent ses fondements et sa structure sont nécessaires en vue de le consolider et de l'améliorer. Ce modèle représente un système complexe qui demeure par définition un système ouvert, qui peut intégrer de nouvelles entités et s'adapter à de nouveaux environnements ayant des propriétés différentes.

Pour ce faire, nous proposons dans ce qui suit des démarches complémentaires qui pourraient renforcer le modèle PODESIM et élargir ses champs d'application.

Citons en premier lieu l'ajout de modules constitués de variables et facteurs qui représentent des aspects importants, non encore intégrés dans le modèle PODESIM, mais qui se prêtent à l'opérationnalisation. À titre d'exemple, l'ajout d'entités qui représentent l'environnement international ou encore des variables inspirées des notions de coalitions plaidantes (Sabatier, 2007) et d'entrepreneurs politiques (Kingdon, 2014). Ces entités pourraient constituer des modules complémentaires du modèle en vue de procéder à des simulations plus élaborées.

En second lieu, nous proposons l'ajout de facteurs et de sous-facteurs aux modules (sous-systèmes) existants en vue de raffiner les résultats de la simulation et de découvrir de nouveaux détails. Des méthodologies et techniques évoluées de collecte, de traitement de données et de simulation pourraient apporter une contribution importante dans la détermination des facteurs et de leur progression ainsi que de leurs fonctions d'appartenance.

À titre d'exemple, citons la modélisation à base d'agents ou les réseaux de neurones artificiels. Ces techniques ajoutent un niveau de détails important concernant certains

facteurs et/ou sous-facteurs et leur progression, en produisant des séries temporelles par exemple, pour alimenter la simulation. L'ajout de ces techniques ouvre la possibilité de procéder à des simulations multi-niveaux avec des modèles plus accomplis et des données plus riches et plus détaillées.

Par ailleurs, l'intégration de séries temporelles spécifiques à des facteurs ou sous-facteurs au modèle permet aussi de déterminer des fonctions d'appartenance plus raffinées et d'alimenter la simulation avec des informations plus précises. Ce qui a pour résultat de produire des résultats plus précis et plus réalistes.

L'ajout de séries temporelles permet aussi d'automatiser la simulation et d'y intégrer de grands volumes de données. L'automatisation offre la possibilité d'effectuer des simulations multi-niveaux et un suivi en temps réel de l'évolution du système étudié.

L'automatisation de la simulation, combinée au concept du modèle PODESIM, offre aussi la possibilité de traiter des situations qui concernent d'autres aspects des politiques publiques et de l'administration. À titre d'exemple, nous proposons de construire des modèles inspirés de PODESIM afin d'effectuer un suivi de la mise en œuvre de politiques ou encore des évaluations et des études d'impact réel ou potentiel de certaines décisions et politiques.

Pour ce qui est des heuristiques décisionnelles issues de l'expertise dans le domaine, appelées règles d'inférence, nous suggérons de tester, dans certains cas, des règles inspirées des approches décisionnelles classiques. À titre d'exemple, nous pouvons songer à un comportement rationnel ou incrémental (Lindblom, 1959) qui aurait un impact sur les heuristiques décisionnelles. En nous inspirant des travaux de Allison (1999), nous proposons aussi de tester des situations où l'influence des entités organisationnelles et du marchandage bureaucratique est présente. Cette influence pourrait se traduire par des heuristiques décisionnelles plus détaillées et plus précises et faire partie d'un jeu de règles d'inférence plus spécifiques.

De plus, il est tout à fait possible d'intégrer des heuristiques décisionnelles basées sur des valeurs ou des facteurs cognitifs (Pomerol et Adam, cité dans Phillips-Wren, Ichalkaranje et

Jain, 2008) dans certains cas. Il est connu que certaines décisions politiques répondent parfois à des choix ancrés dans des convictions individuelles ou collectives ou fortement influencées par les fonctions cognitives de certains acteurs.

Enfin, pour enrichir davantage la détermination des heuristiques décisionnelles, nous proposons de faire appel à des techniques évoluées qui sont en mesure de produire, d'une manière automatique, des règles d'inférence floue. Citons à titre d'exemple les techniques des algorithmes prédictifs et évolutionnistes, tels que les algorithmes génétiques³⁶. Ces algorithmes sont des programmes qui manipulent de grandes quantités de données, qui émanent de sources diverses, dans le but de les analyser et d'extraire des informations inaccessibles sans ce traitement. C'est cette propriété qui donne à ces algorithmes la capacité de produire automatiquement des règles d'inférence floue.

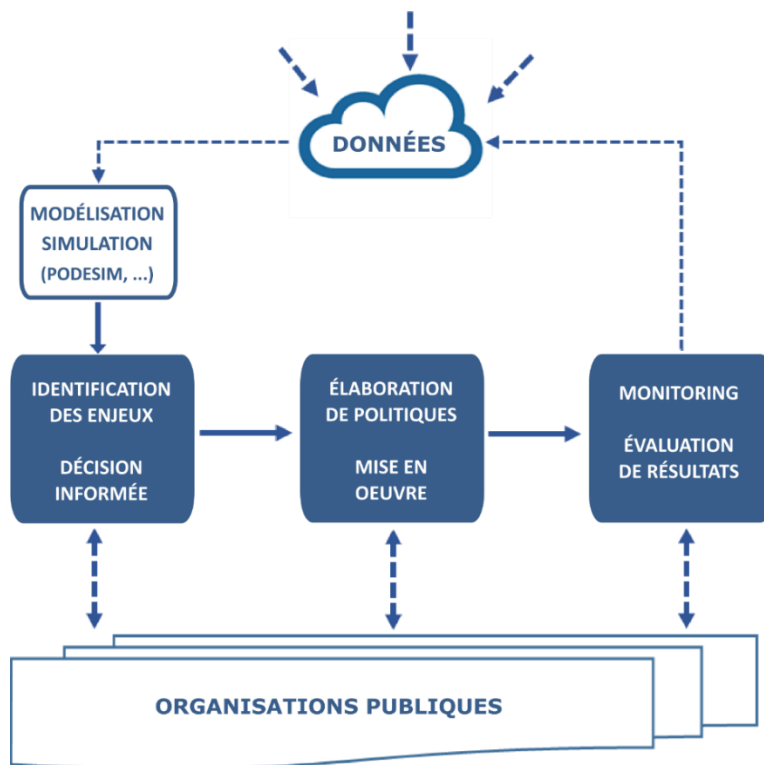
Ces propositions diverses illustrent la flexibilité et la capacité d'adaptation du modèle PODESIM. Elles illustrent aussi l'ouverture de ce modèle sur un grand nombre de champs de recherche. La méthodologie que nous proposons peut d'ailleurs être enrichie par la prolifération de données « massives » et satisfaire les besoins pour des politiques plus spécifiques et un rôle proactif et plus efficace de l'administration publique.

Les résultats obtenus et les futures recherches suggérées illustrent le potentiel du modèle PODESIM et le situent au cœur de la démarche décisionnelle et organisationnelle.

Dans la figure qui suit, nous synthétisons la finalité de la modélisation et simulation dans l'environnement politico-administratif et qui appelle à de vastes recherches qui touchent la transformation numérique³⁷ dans le champ des politiques publiques et de l'administration.

³⁶ Voir par exemple : Baron, L., Achiche, S., Balazinski, M. (2001). Fuzzy decision support system knowledge base generation using a genetic algorithm. *International Journal of Approximate Reasoning* 28 (2001), p. 125-148. Elsevier.

³⁷ La transformation numérique (ou digitale), appelée aussi transition numérique, désigne les processus d'intégration des technologies numériques dans toutes les activités et les sphères organisationnelles.



La modélisation et la transformation numérique en politiques publiques

La modélisation et simulation, dont le modèle PODESIM, contribue à la transformation numérique, une évolution en cours dans le domaine des politiques publiques.

Cette transformation s'articule autour de trois axes principaux, à savoir l'exploitation de données, les méthodes et les technologies informatiques évoluées dont la modélisation et simulation, et enfin l'environnement politico-administratif.

Notre démarche contribue à cette transformation et à la transition de l'analyse classique de politiques au champ de la *Policy Analytics*. Un nouveau programme de recherche en politiques computationnelles qui vise à relever les défis contemporains des politiques publiques et de l'administration à travers la recherche avancée de méthodes et le développement d'outils évolués de gestion de données, de diagnostic décisionnel et de prévision.

En conclusion, notre projet s'inscrit dans ce programme de recherche, qui repose grandement sur deux ressources importantes, l'information et l'expertise. Il ouvre de nouvelles perspectives pour l'intégration d'un éventail de méthodes issues de l'analyse de données, de la modélisation et simulation et de l'usage de techniques informatiques évoluées, applicables dans des contextes organisationnels pour penser le futur des politiques à l'ère d'une nouvelle transformation numérique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allison, G. T. (1971). *Essence of decision: Explaining the Cuban missile crisis*. Boston: Little, Brown.
- Allison, G.T., & Halperin, M. H. (1972). Bureaucratic Politics: A Paradigm and Some Policy Implications. *World Politics* no. 24, p. 40-79.
- Allison, G. T., & Zelikow, P. (1999). *Essence of Decision: Explaining the Cuban Missile Crisis* (2nd Ed.). Longman (Addison-Wesley Educational Publishers Inc).
- Axelrod, R. (1997). *The complexity of cooperation: agent-based models of competition and collaboration*. New Jersey: Princeton University Press.
- Axelrod, R. (1997a). Advancing the art of simulation in the social sciences. Dans R. Conte, R. Hegselmann, & P. Terna (Dir.), *Simulating social phenomena*, Vol. 456: Lecture notes in economics and mathematical systems (p. 21-40). Berlin: Springer.
- Axelrod, R., Cohen, M. D. (2000). *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*. New York: The Free Press.
- Axelrod, R., Mitchell, W., Thomas, R.E., Bennett, D.S., & Bruderer, E. (1995). Coalition formation in standard-setting alliances. *Management Science*, no 41(9), p. 1493-1508.
- Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (2006). A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences. Appendix A (pp. 1647-1659). Dans L. Tesfatsion & K. L. Judd (Dir.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2: Agent-Based Computational Economics, Handbooks in Economics Series. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier North-Holland.
- Axtell, R. (2000). Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences. Working Paper No. 17, *Center on Social and Economic Dynamics*, The Brookings Institution.
- Bělohlávek, R., Billari, J. W., & Klir, G. J. (2017). *Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective*. New York : Oxford University Press.
- Bouchon-Meunier, B. (2003). *Logique floue, principes, aide à la décision*. Paris. Hermès Science Publications.
- Bouchon-Meunier, B. (2007). *La logique floue, 4^e édition*. Paris. Presses Universitaires de France.
- Bourcier, D., Boulet, R., & Mazzega, P. (2012). *Politiques publiques Systèmes complexes*. Paris. Hermann Éditeurs.

- Cairney, P. (2012a). Complexity Theory in Political Science and Public Policy. *Political Studies Review* no. 10, 346–358.
- Cairney, P. (2012b). *Understanding Public Policy*. New York. Palgrave Macmillan.
- Cohen, M. D., March J. G. & Olsen J. P. (1972). A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 17, No. 1 (Mar., 1972), p. 1-25.
- Colander, D. C., & Kupers, R. (2014). *Complexity and the art of public policy: Solving society's problems from the bottom up*. Princeton: Princeton University Press.
- Daft, L. R. (2010). *Organization Theory and Design, Tenth Edition*. South-Western Cengage Learning, Mason, OH.
- Dobbs, M. (2008). *One Minute to Midnight: Kennedy, Khrushchev, and Castro on the Brink of Nuclear War*. Vintage Books, New, York.
- Edmonds, B. (2010). Bootstrapping Knowledge About Social Phenomena Using Simulation Models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(1) 8. Récupéré de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/1/8.html>.
- Edmonds, B., & Gershenson, C. (2013). Modelling Complexity for Policy: Opportunities and Challenges. Dans *Handbook of complexity and Public Policy*. Edward Elgar Publishing Ltd.
- Epstein, J. M. (2006). Generative Social Science: Studies. In *Agent-Based Computational Modeling*. Princeton, NJ. Princeton University Press.
- Epstein, J. M. (2008). Why Model?. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4)12. Récupéré de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. L. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up*. A Bradford Book.
- Etzioni, A. (1967). Mixed-scanning: A "third" approach to decision-making. *Public administration review*, p. 385-392.
- Flasiński, M. (2016). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer International Publishing Switzerland.
- Fursenko, A. & Naftali, T. (2014). *"One Hell of a Gamble": Khrushchev, Castro, and Kennedy, 1958-1964*. W. W. Norton & Company. New York, London.
- Geyer, R., Cairney, P. (Dir.) (2015). *Handbook on Complexity and Public Policy*. Edward Elgar Publishing Limited.
- Geyer, R. & Rihani, S. (2010). *Complexity and Public Policy: A New Approach to Twenty-first Century Politics. Policy and Society*. Abingdon. Routledge.

- Green, D.P., & Shapiro, I. (1996). *Pathologies of Rational Choice Theory. A Critique of Applications in Political Science*. Yale University Press.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S. K., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J. U., Jørgensen, C., Mooij, W. M., Müller, B., Peter, G., Piou, C., Railsback, S. F., Robbins, A. M., Robbins, M. M., Rossmanith, E., Rüger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R. A., Vabø, R., Visser, U., & DeAngelis, D. L. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198(1-2), p. 115-126.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), p. 2760-2768.
- Gortner, H. F., Mahler, J., & Nicholson, J. B. (1993). *La gestion des organisations publiques*. Presses de l'Université du Québec.
- Harrison, N. E. (Dir.) (2006). *Complexity In World Politics, Concepts and Methods of a New Paradigm*. Albany. State University of New York Press.
- Haas, M. L. (2001). Prospect Theory and the Cuban Missile Crisis. *International Studies Quarterly*, Vol. 45, No. 2 (Jun., 2001), p. 241-270.
- Hassenteufel, P. (2011). *Sociologie politique, l'action publique*. Paris. Armand Colin
- Helbing, D. (Dir.) (2012). *Social Self-Organization. Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*. Berlin. Heidelberg, Springer-Verlag.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. New York. Basic Books.
- Holland, J. H. (1998). *Emergence. From Chaos to Order*. Cambridge, Massachusetts. Perseus Books.
- Howlett, M. (1999). Rejoinder to Stuart Soroka, "Policy Agenda-Setting Theory Revisited: A Critique of Howlett on Downs, Baumgartner and Jones, and Kingdon". *Canadian Journal of Political Science*, 32(4), 773-779.
- Janssen, M., Wimmer, M. A. & Deljoo, A. (Eds) (2015). *Policy Practice and Digital Science. Integrating Complex Systems, Social Simulation and Public Administration in Policy Research*. Springer International Publishing Switzerland.
- Jervis, R. (1997). *System Effects. Complexity in Political and Social Life*. New Jersey: Princeton University Press.
- John, P. (2012). *Analyzing Public Policy* (2nd ed.). London and New York. Routledge.

- Johnson, L. (2016). *Agent-Based Model Basics. A Guidebook & Checklist for Policy Researchers*. Washington. Westphalia Press.
- Kegley, C. W., & Blanton, S. L. (2011-2012). *World Politics: Trends and Transformations*. Cengage Learning.
- Keller, J. M., Liu, D. & Fogel, D. B. (2016). *Fundamentals of Computational Intelligence. Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Kingdon, J. (2014). *Agendas, Alternatives and Public Policies* (2nd ed.). Essex. Pearson Education Limited.
- Klijin, E.H., Snellen, I. (2009). *Complexity theory and public administration: A critical appraisal*. in G.R. Teisman, A. Buuren and L.M. Gerrits, *Managing Complex Governance Systems*.
- Knoepfl, P., Larrue, C., Varone, F., & Savard, J-F. (2015). *Analyse et pilotage des politiques publiques*. Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Koliba, C., & Zia, A. (2011). *Theory Testing Using Complex Systems Modeling in Public Administration and Policy Studies: Challenges and Opportunities for a Meta-Theoretical Research Program*. Public Management Research Conference (PMRC). Maxwell School of Citizenship and Public Affairs. Syracuse University.
- Koliba, C., Zia, A. (2012). *Governance Informatics: using computer simulation models to deepen situational awareness and governance design considerations policy informatics*. MIT Press, Cambridge.
- Labioud, H., Beylot, A-L. (2013). *Réseaux véhiculaires, modèles et algorithmes*. Paris. Lavoisier
- Lascoumes, P., & Le Galès, P. (2007). *Sociologie de l'action publique*. Paris: Armand Colin.
- Legrand, V. (2004). La prise de décision en politique étrangère. Dans C. Roosens, V. Rosoux et T. Wilde D'Estmael (Dir.), *La Politique étrangère : Le modèle classique à l'épreuve* (p. 79-106). Bruxelles : Presses Interuniversitaires Européennes.
- Lemieux, V. (2009). *L'étude des politiques publiques: Les acteurs et leur pouvoir*. Québec: Les Presses de l'Université Laval.
- Le Moigne, J.-L. (1999). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris. Dunod.
- Lempert, R. (2002). Agent-based modeling as organizational and public policy simulators. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3), p. 7195-7196.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Sage Publications. Newbury Park, CA.

- Lindblom, C. E. (1959). The Science of Muddling Through. *Public Administration Review*, Vol 19, no. 2, p. 79-88.
- Lucci, S. & Kopec, D. (2016). *Artificial Intelligence in the 21ST Century: A Living Introduction 2/E*. Mercury Learning and Information, Dulles, VA.
- Mace, G. et Pétry, F. (2000). *Guide d'élaboration d'un projet de recherche en sciences sociales*. Les Presses de l'Université Laval.
- Mamdani, E.H. & Assilian, S. (1975). "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, p. 1-13.
- March, J. G. (1994). *A Primer on Decision Making*. The Free Press.
- March J.G., Olsen J.P. (Eds.) (1985). *Ambiguity and Choice in Organizations*. Oxford University Press.
- March, J. G., & Simon, H. A. (1993). *Organizations*. Second Edition. Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishers.
- Marquis, P., Papini, O. & Prade, H. (Coord.) (2014). *L'intelligence artificielle : frontières et applications*. Toulouse. Cépaduès Éditions.
- May, E. R., & P. D. Zelikow, (eds) (2002). *The Kennedy Tapes: Inside the White House During the Cuban Missile Crisis*. W.W. Norton, Concise Edition.
- May, E. R., & P. D. Zelikow (1997) *The Kennedy Tapes: Inside the White House During the Cuban Missile Crisis*. Cambridge, MA: Belknap Press.
- Meek, J. W. (2010). *Editorial: Complexity Theory and administrative learning – Adaptive practices in complex governance systems*. E:CO 2014 16(1), p. 1-6. Emergent Publications.
- Michaud, N. (1996). Graham Allison et le paradigme bureaucratique : vingt-cinq ans plus tard est-il encore utile ?. *Études internationales*, 27(4), p. 769-794.
- Mintz, A., & DeRouen, K. R. (2010). *Understanding foreign policy decision making*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press, Oxford.
- Mitleton-Kelly, E. (2003). *Complex Systems and Evolutionary Perspectives on Organisations: The Application of Complexity Theory to Organisations*, Bingley. UK, Emerald Group Publishing Limited.
- Morçöl, G. (2003). Complexity and public administration. *Public Administration Theory. Network Annual Conference*. Anchorage, Alaska.

- Morçöl, G. (2010). Issues in Reconceptualizing Public Policy from the Perspective of Complexity Theory. *Emergence: Complexity and Organization*, 12(1).
- Morçöl, G. (2008). A Complexity Theory for Policy Analysis: An Outline and Proposals. Dans L. F. Dennard, K. A. Richardson & G. Morçöl, *Complexity and Policy Analysis: Tools and Concepts for Designing Robust Policies in a Complex World*. Goodyear, AZ: ISCE Publishing.
- Morçöl, G. (2012). *A Complexity Theory for Public Policy*. New York. Routledge.
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, Éditions du Seuil.
- Morin, J.-F. (2013). *La politique étrangère: Théories, méthodes et références*. Paris, A. Colin.
- Moss, S., & Edmonds, B. (2005). Towards Good Social Science. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4), 13. Récupéré de : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/4/13.html>.
- Nathan, J. A. (Ed.) (1992). *The Cuban Missile Crisis Revisited*. Palgrave Macmillan.
- Newell A., Simon H.A., (1972). *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Phillips-Wren, G., Ichalkaranje, N. & Jain, L. C. (Eds.) (2008). *Intelligent Decision Making: An AI-Based Approach*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Pollitt, C. (2008). *Time, Policy, Management: Governing with the Past*. Oxford , Oxford University Press.
- Preston, T. (2001). *The President and His Inner Circle. Leadership style and the advisory process in foreign affairs*. Columbia University Press, New York.
- Quéau, P. (1986). *Éloge de la simulation. De la vie des langages à la synthèse des images*. Champ Vallon/INA.
- Railsback, S. F., Lytinen, S. L., & Jackson, S. K. (2006). Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. *Simulation*, 82(9), 609-623.
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2012). *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Rhodes, D. H. & Ross, A. M. (2010). Five aspects of engineering complex systems emerging constructs and methods. *2010 IEEE International Systems Conference*, San Diego, CA, p. 190-195.
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic. With Engineering Applications*. Third Edition. John Wiley & Sons, Ltd.

- Russel, S. & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence. A modern Approach, Third Edition*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Rutkowski, L. (2008). *Computational Intelligence. Methods and Techniques*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sabatier, P. A. (2007). *Theories of the policy process*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Sawyer, K. R. (2005). *Social emergence: Societies as complex systems*. Cambridge University Press.
- Shanmuganathan, S. & Samarasinghe, S. (Eds.) (2016). *Artificial Neural Network Modelling*. Springer International Publishing Switzerland 2016.
- Siegfried, R. (2014). *Modeling and Simulation of Complex Systems. A Framework for Efficient Agent-Based Modeling and Simulation*. Springer, Fachmedien, Wiesbaden.
- Simon, H. A. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69, p. 99-118.
- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *In Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, p. 467-482.
- Simon, H.A. (1977). *The New science of Management Decision* (3rd edition revised, first edition 1960), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S. & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sokolowski, J. A. & Banks, C. M. (2009). *Modeling and Simulation For analyzing Global events*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Solo, A. M. G. (2014). The New Interdisciplinary Fields of Public Policy Engineering and Computational Public Policy. In A. M. G. Solo (Ed.), *Political Campaigning in the Information Age*. Hershey, PA: IGI Global.
- Stern, S. M. (2012). *The Cuban Missile Crisis in American Memory. Myths versus Reality*. Stanford University Press.
- Stern, S. M. (2005). *The Week the World Stood Still. Inside the Secret Cuban Missile Crisis*. Stanford University Press.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- Sorensen, T. C. (1965). *Kennedy*. Harper & Row, Publishers.
- Sorensen, T. C. (1969). *The Kennedy Legacy*. Macmillan.

- Taylor, S. JE (Dir.) (2014). *Agent-Based Modeling and Simulation*. Palgrave Macmillan.
- Treuil, J.-P., Drogoul, A., & Zucker, J.-D. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents: exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques*. Paris. Dunod.
- Tsoukias, A., Montibeller, G., Lucertini, G., & Belton, V. (2013). Policy analytics: an agenda for research and practice. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1-2), 115-134.
- Van Dam, K. H., Nikolic, I., & Lukszo, Z. (Eds) (2013). *Agent-Based Modelling of Socio-Technical Systems*. Dordrecht Heidelberg New York London: Springer.
- Wagner-Rémy, C. (2016). *La pensée dirigée: Traité sur le raisonnement et les logiques*. Edition: BoD – Books on Demand, Paris.
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to Agent-based Modeling. Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with Netlogo*. Massachusetts Institute of Technology.
- Yager, R. R. & Zadeh, L. A. (Eds) (1992). *An introduction to Fuzzy Logic Applications In Intelligent Systems*. Springer Science+Business Media New York.
- Yetiv, S. A. (2011). *Explaining Foreign Policy: U.S. Decision-Making in the Gulf Wars* (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.
- Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets*. Information and Control, vol. 8, p. 338-353.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 3, No. 1, p. 28-44, Jan. 1973.
- Zadeh, L. A. (1979). *A Theory of approximate reasoning*, in Hayes, J., Michie, D., Mikulich, L. (Eds). *Machine intelligence*. Halstead Press, New York, p. 149-194.
- Zadeh, L. A. (1989). *Knowledge representation in fuzzy logic*. IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering, vol 1, no. 1, March 1989, p. 253-283.
- Zahariadis, N. (2003). *Ambiguity and Choice Un Public Policy: Political Decision Making in Modern Democracies*. Georgetown University Press.
- Zahariadis, N. (2007). The multiple streams framework. Structure, limitations, prospects. Dans P.A. Sabatier (Dir.), *Theories of the Policy Process* (p. 65-92). Boulder, Colorado: Westview Press.
- Zgurovski, M. Z., Zaychenko, Y. P. (2016). *The Fundamentals of Computational Intelligence: System Approach*. Studies in Computational Intelligence, volume 652. Springer International Publishing Switzerland.